



TESIS - MO142528

KAJIAN KERENTANAN TSUNAMI : STUDI KASUS TSUNAMI BANYUWANGI 1994

Devi Verawati Gusman
04111550052001

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST., M.Eng
Haryo Dwito Armono ST., M.Eng., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK MANAJEMEN PANTAI
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA. 2018



TESIS - MO142528

KAJIAN KERENTANAN TSUNAMI : STUDI KASUS TSUNAMI BANYUWANGI TAHUN 1994

Devi Verawati Gusman
04111550052001

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST., M.Eng
Haryo Dwito Armono ST., M.Eng., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK MANAJEMEN PANTAI
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA. 2018



THESIS - MO142528

TSUNAMI VULNERABILITY ASSESSMENT : CASE STUDY TSUNAMI BANYUWANGI 1994

Devi Verawati Gusman
04111550052001

SUPERVISOR:
Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST., M.Eng
Haryo Dwito Armono ST., M.Eng., Ph.D

Master Degree Program
Management Coastal Engineering
Ocean Engineering Departmenet
Faculty Of Marine Technology
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Surabaya. 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :



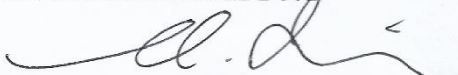



Devi Verawati Gusman

NRP. 04111550052001

Tanggal Ujian : 31 Mei 2018

Periode : September 2018

Disetujui Oleh:

- 
1. Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST, M.Eng (Pembimbing 1)
NIP. 19740127 199903 1 002
- 
2. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D (Pembimbing 2)
NIP. 19680810 199512 1 001
- 
3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, ST., M.Sc (Penguji 1)
NIP. 19770225 200212 1002
- 
4. Suntoyo ST., M.Eng., Ph.D (Penguji 2)
NIP. 19710723 199512 1 001
- 
5. Dr. Ir. Wahyudi M.Sc (Penguji 3)
NIP. 19601214 198903 1 001
- 
6. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D (Penguji 4)
NIP. 196108305 198910 1 001



Plt Dekan,

Prof. Ir. Arif Djunaedy, M.Sc., Ph.D
NIP. 19581005 198603 1 003

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KAJIAN KERENTANAN TSUNAMI : STUDI KASUS TSUNAMI BANYUWANGI 1994

Nama Mahasiswa : Devi Verawati Gusman

NRP : 04111550052001

Pembimbing : Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST, M.Eng

Co-Pembimbing : Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Banyuwangi sangat potensial untuk pengembangan permukiman manusia dengan berbagai kegiatan budidaya, industri dan jasa yang dapat menunjang perekonomian nasional. Namun, daerah ini rentan terhadap bencana gempa dan tsunami yang ditandai dengan tsunami pada tahun 1994. Banyuwangi perlu memiliki peta kerentanan tsunami yang akurat sebagai acuan untuk menentukan rencana tata ruang, yaitu RTRW. Penelitian ini menekankan analisis kerentanan tsunami dengan memasukkan pemodelan numerik. Metode ini memiliki keunggulan dalam integrasi data dan informasi bencana. Penelitian ini bisa menjadi alat penilaian yang ideal untuk mendukung upaya perencanaan wilayah dengan mempertimbangkan bahaya tsunami. Hasil awal pemodelan memastikan bahwa model tersebut memiliki kompatibilitas yang baik dengan survei lapangan dalam hal ketinggian run-up tsunami di Banyuwangi akibat tsunami pada tahun 1994. Diperoleh hasil validasi model di desa Sumber Agung memiliki ketinggian run up maksimum yang terjadi berkisar 5,6 m dengan kecepatan run up tsunami diperkirakan sebesar 4,0 m /s dan gelombang horizontal yang datang sebesar 750 m. Untuk wilayah pantai Rajegwesi memiliki nilai horizontal 400 m dengan run up gelombang yang terjadi dari 4,2 m. Upaya mitigasi yang dilakukan berupa non struktural dan struktural. Pembangunan penghalang laju gelombang tsunami sebagai bentuk upaya struktural dan melakukan identifikasi daerah rawan yang belum teridentifikasi sebagai upaya non struktural.

Kata kunci: Pemodelan numerik, Tsunami, Anuga, mitigasi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

TSUNAMI VULNERABILITY ASSESSMENT : CASE STUDY TSUNAMI

BANYUWANGI 1994

Student's Name : Devi Verawati Gusman
NRP : 04111550052001
1st Advisor : Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST, M.Eng
2nd Advisor : Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Banyuwangi is very potential for the development of human settlements with various activities of cultivation, industry and services that can support the national economy. However, this area is vulnerable to the earthquake and tsunami disaster marked by the tsunami in 1994. It is necessary for Banyuwangi to have an accurate tsunami vulnerability map as a reference for determining spatial plan, namely RTRW. This study emphasizes the analysis of tsunami vulnerability by incorporating numerical modeling. This method has an advantage of data integration and disaster information. This research can be an ideal assessment tool to support the efforts of regional planning by considering tsunami hazard. A vulnerability map of the tsunami on the coast of Banyuwangi District, East Java, will be developed, then the very vulnerable classes will be determined. The early result of modeling work confirmed that the model had a good compatibility with the field survey in terms of tsunami run-up heights in Banyuwangi due to tsunami in 1994. The results of model validation in Sumber Agung village have a maximum run up height of 5.6 m the run-time speed of the tsunami is estimated at 4.0 m/s and for the value of the magnitude of horizontal waves that come to 750 m. For the beach area Rajegwesi has a horizontal 400 m with run up waves occurring from 4.2 m. Mitigation efforts are non-structural and structural. The construction of a tsunami wave rate barrier as a form of structural effort and identifying vulnerable areas that have not been identified as non-structural efforts.

Keywords: Numerical modeling, Tsunami, Anuga, mitigation.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan thesis yang berjudul **"Kajian Kerentanan Tsunami : Studi Kasus Tsunami Banyuwangi 1994"** dengan lancar. Buku thesis ini disusun untuk menyelesaikan mata kuliah Thesis sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik (S2) di Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tesis ini mencoba mengkaji kerentanan tsunami di Kabupaten Banyuwangi. Diharapkan dengan selesainya buku thesis ini dapat memberikan kebermanfaatannya pengetahuan tentang kerentanan tsunami. Penulisan buku thesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis sebagai bahan koreksi untuk penulisan selanjutnya agar lebih baik. Penulis juga berharap semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis khususnya.

Surabaya, Mei 2018

Devi Verawati Gusman

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran proses pengerjaan Buku Thesis ini. Penulis ingin berterima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahannya dalam pengerjaan thesis ini.
2. Orang tua (Agus Nauman dan Endang Sri Sulastri), Dwi (Dwi Cahyo Gusman), Donna (Donna Fitriyana Gusman) yang tidak pernah berhenti memberikan dukungan material dan spiritual.
3. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho ST, M.Eng selaku dosen pembimbing I yang dengan sabar membimbing penulis sehingga selesainya buku thesis ini, serta memberikan motivasi kepada penulis dan pencerahan tentang kerentanan tsunami.
4. Bapak Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan arahan kepada penulis khususnya dalam memperdalam tentang kerentanan tsunami.
5. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan, FTK – ITS.
6. Bapak Robiana dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi - Badan Geologi, Bandung yang telah membantu penulis dalam pembelajaran model ANUGA.
7. Nurul Fatimah Yunita, Atika Fadhilah, dan Inovasita Alifdini yang telah membantu penulis dalam berdiskusi dan sangat membantu penulis dalam pengerjaan buku thesis ini.
8. Sahabat penulis Dhea, Wulan, Siska, Vee, Tami, Damar, Elyas dan Iqbal atas ketersediaannya untuk berdiskusi serta memberikan motivasi kepada penulis untuk penulisan buku thesis ini.
9. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
UCAPAN TERIMA KASIH	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat	4
1.3.1 Tujuan	4
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengertian Tsunami	7
2.2 Gempa Bumi	11
2.3 Simulasi Tsunami.....	12
2.3.1 Persamaan Pembangkit	12
2.3.2 Data Bathimetri dan Topografi	20
2.3.3 Digital Elevation Model (DEM)	25
2.3.4 Validasi Model.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Tempat dan Waktu	30
3.2 Sistematika Penelitian.....	30
3.3 Peralatan Penelitian.....	31
3.4 Data Penelitian	32
3.5 Metode Analisa	32

3.6	Dokumentasi Jadwal dan Pengerjaan Model	33
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		35
4.1	Hasil dan Analisis	35
4.1	Run – Up Gelombang di Pesisir Selatan Banyuwangi	41
4.3	Erosi Pantai.....	42
4.4	Gempa Bumi.....	45
4.4	Mitigasi Bencana.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN.....		68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Terjadinya Tsunami yang Disebabkan oleh Gempa di Dasar Laut (Rais, 2008).	13
Gambar 2. 2 Penjalaran Gelombang Tsunami	14
Gambar 2. 3 Penjalaran Tsunami dan Pergerakan Partikel Air	15
Gambar 2. 4 Ilustrasi Model Anuga.....	22
Gambar 2. 4 Grafik Run up Gelombang Tsunami	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir	30
Gambar 4. 1 Peta Batas Desa Daerah Studi.....	35
Gambar 4. 2 Peta Bathimetri dan Topografi.....	37
Gambar 4. 3 Peta Titik Gempa di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi pada Tahun 1994	38
Gambar 4. 4 Peta Ketinggian Gelombang	40
Gambar 4. 5 Peta Kerentanan Terhadap Erosi Pantai di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi	44
Gambar 4. 6 Peta Kepadatan Penduduk Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi	49
Gambar 4. 7 Gambar Lokasi Potongan Cross Section.....	51
Gambar 4. 8 Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 1.....	51
Gambar 4. 9 Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 2.....	52
Gambar 4. 10 Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 3.....	52
Gambar 4. 11 Grafik Data Kepadatan Penduduk Kabupaten Banyuwangi.....	53

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Penelitian Parameter Tingkat Kerentanan Tsunami.....	10
Tabel 2.2 Kajian Penelitian Parameter Tingkat Kerentanan Gempa Bumi.....	11
Tabel 2.3 Nilai dari koefisien kekasaran Manning materi penyusun dasar laut n..	19
Tabel 2.4 Tahapan – tahapan dalam Anuga	24
Tabel 2.5 Data Run up Gelombang Tsunami Di Pesisir Banyuwangi, Jawa Timur.....	27
Tabel 3. 1 Peralatan dan <i>software</i> yang Digunakan di Laboratorium.....	31
Tabel 4.1 Variabel Kemiringan Pantai Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Erosi Pantai.....	42
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Kemiringan Pantai Terhadap Erosi Pantai.....	43
Tabel 4.3 Variabel Jarak Terhadap Patahan Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Gempa Bumi.....	45
Tabel 4.4 Kepadatan Penduduk Kabupaten Banyuwangi Tahun 2017.....	46
Tabel 4.5 Variabel Kepadatan Penduduk Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Gempa Bumi.....	47
Tabel 4.6 Variabel Kepadatan Penduduk Tiap Desa Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Gempa Bumi	48
Tabel 4.7 Jumlah Penduduk menurut Kecamatan dan Jenis Kelamin.....	50

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah Indonesia merupakan satu kawasan yang terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng (triple junction plate convergence), yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Samudera Pasifik dan Lempeng India-Australia yang masing-masing bergerak ke barat dan ke utara relatif terhadap Eurasia. Dengan demikian Indonesia merupakan daerah yang secara tektonik sangat labil dan termasuk salah satu negara yang memiliki tingkat kegempaan yang tinggi di dunia, lebih dari 10 kali lipat dibandingkan tingkat kegempaan di Amerika. Gempa-gempa tersebut sebagian berpusat di dasar Samudera Hindia dan beberapa dapat memicu terjadinya gelombang laut yang besar yang disebut tsunami (Arnold, 1986 dalam Suyatno, 1995).

Tsunami yang terjadi di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh gempa-gempa tektonik di sepanjang daerah subduksi dan daerah seismik aktif lainnya (Puspito, 1994). Selama periode tahun 1600 sampai 2007 terjadi kurang lebih 184 tsunami. Dari jumlah itu, 90 persen diantaranya disebabkan oleh gempa tektonik, 9 persen karena letusan gunung api dan hanya 1 persen dipicu oleh longsoran (landslide) (Diposaptono dan Budiman, 2006).

Berdasarkan data dari BMKG, bencana gelombang tsunami yang melanda Selatan Jawa Timur terjadi pada dini hari tepatnya tanggal 3 Juni 1994 dengan pusat gempa pada koordinat $10,70^{\circ}$ LS – $112,82^{\circ}$ BT menurut BMG ; Kompas, 5 Juni 1994 (dalam Brahmantyo, dkk., 1999) di kedalaman 33 km dan kekuatan 5,9 Skala Richter. Bencana gelombang tsunami tersebut secara keseluruhan melanda sepanjang pantai selatan Jawa Timur, meliputi Kabupaten Banyuwangi, Jember, Malang, Blitar, bahkan hingga ke Kabupaten Tulungagung.

Sebagai suatu kejadian alam, waktu kejadian dan intensitas bencana tsunami pada suatu daerah belum dapat di prediksi dan dihindarkan secara tepat hingga saat ini. Bencana tsunami yang menghempas daerah pesisir, seperti kejadian

bencana tsunami di Nanggroe Aceh Darussalam tahun 2004 dan Pangandaran tahun 2006 dapat menelan korban jiwa dalam jumlah sangat besar, menghancurkan berbagai infrastruktur dan investasi yang telah dibangun pemerintah dalam waktu bertahun-tahun.

Penelitian ini menekankan pada kerentanan tsunami, karena kerentanan merupakan salah satu kondisi yang akan menentukan apakah bahaya alam akan menimbulkan bencana alam atau tidak. Berdasarkan penelitian Nishenko et al. (1994) menyatakan bahwa kesadaran akan kerentanan bencana dapat digunakan oleh masyarakat dalam mitigasi bencana yang akan datang, persiapan dan perencanaan evakuasi. Peta Kerentanan memberikan lokasi yang tepat dimana masyarakat, lingkungan atau keduanya berpotensi terkena bencana alam besar yang dapat menyebabkan kematian, luka-luka, polusi atau kerusakan lainnya (Edwards et al. 2007). Tsunami tidak dapat diartikan sebagai bencana, akan tetapi tsunami ini akan menjadi bencana apabila menimpa pada kondisi yang rentan (Wisner, 1994 dalam Julkarnaen, 2008).

Run-up merupakan refleksi ketinggian atau elevasi gelombang tsunami yang mencapai daratan dan berbeda dengan tinggi gelombang tsunami yang menunjukkan besaran gelombang dari lembah ke puncak. Secara empiris, didasarkan pada ketinggian run-up, tsunami mempunyai besaran m , yaitu :

$$m = 3,32 \log h$$

dengan h adalah run-up atau tinggi air maksimum yang terukur di pantai (Bolt dan Mc Donald, 1975).

Dengan menggunakan rumus Bolt dan Mc Donald ini, maka tsunami di Banyuwangi Selatan yang mempunyai run-up antara 3 sampai 14 meter, dengan ketinggian gelombang tsunami sebesar adalah 2,8 – 3,5 m. Ketinggian tsunami di Jawa Timur ini jika dibandingkan dengan hasil pengamatan yang dilakukan oleh Ida, 1963 (dalam Wiegel, 1970) cukup besar. Dengan ketinggian 2,8 – 3,5 seharusnya tsunami ini dibangkitkan oleh suatu gempa bumi dengan besaran antara tujuh sampai delapan skala Richter. Padahal gempa bumi di selatan Jawa Timur telah diketahui hanya berkekuatan 5,9 skala Richter pada kedalaman 33 km. Hal

tersebut dianggap sebagai suatu “keanehan” karena secara teoritis mestinya dengan kekuatan 5,9 skala Richter dan run-up yang dihasilkan diperkirakan hanya dua sampai tiga meter disampaikan oleh Kepala BMG, Jawa Pos, 28 Juni 1994 (dalam Brahmantyo, dkk., 1999). Keanehan ini sebenarnya menunjukkan bagaimana kondisi bentuk muka bumi pantai dapat menaikkan akumulasi energi gelombang. Besar kecilnya kekuatan tsunami disamping ditentukan oleh besaran gempa bumi juga ditentukan oleh morfologi pantai (Saroso, dkk., 1994. Puspito dan Triyoso, 1994) sehingga dalam pemetaan bahaya tsunami harus memperhitungkan morfologi pantai (Wahjono dan Sudarsono, 1994).

Terpilihnya Kabupaten Banyuwangi sebagai daerah kajian, karena mempunyai potensi untuk pengembangan pemukiman dengan berbagai aktivitas budidaya, industri dan jasa yang dapat menunjang perekonomian nasional, akan tetapi daerah ini rentan terhadap bencana gempa dan tsunami karena selain belum mempunyai peta kerentanan tsunami yang akurat sebagai acuan dalam penentuan rencana tata ruang wilayah (RTRW), pada tahun 1994 terjadi tsunami yang mencapai Kabupaten Banyuwangi dengan ketinggian 3,5 m (Brahmantyo, Sampurno, dan Bandono, 1999).

Penelitian ini menggunakan metode QGIS, karena metode ini memiliki keunggulan untuk mengintegrasikan informasi alam, sosial-ekonomi dan bencana bisa menjadi suatu alat penilai yang ideal guna mendukung upaya perencanaan kawasan rentan tsunami. Tujuan utama dari QGIS dimaksud lebih ditekankan pada isu kerentanan kawasan, identifikasi kawasan rentan tsunami yang memiliki sumberdaya yang berharga, serta mengetahui dampak yang ditimbulkan pasca tsunami. Hasil kajian kerentanan yang komprehensif dapat digunakan untuk mendukung upaya pengurangan potensi kerugian kawasan pesisir, meningkatkan kemampuan untuk merespon dan memulihkan diri dari suatu peristiwa. Dengan demikian bisa meningkatkan daya pulih keseluruhan terhadap bencana alam di masa yang akan datang (Diposaptono dan Budiman, 2006).

1.2. Perumusan Masalah

Yang mendasari penelitian ini karena belum adanya peta kerentanan tsunami yang akurat sebagai acuan yang memprediksi genangan yang terjadi akibat gelombang tsunami dalam penentuan rencana tata ruang wilayah (RTRW) Kabupaten Banyuwangi. Selain itu pada tahun 1994 telah terjadi tsunami dengan run up tertinggi mencapai 3,5 meter (Brahmantyo, Sampurno, dan Bandono, 1999) di daerah ini. Kabupaten Banyuwangi adalah daerah padat pemukiman, banyak infrastruktur dan daerah wisata yang ramai pengunjung sehingga akan menelan korban yang lebih besar apabila tidak dilakukan upaya mitigasi. Bencana tsunami serupa dapat terjadi di masa depan, namun tidak dapat diprediksi besarnya kerugian yang ditimbulkan akibat bencana tsunami, terutama korban jiwa, kerusakan fasilitas umum dan kerugian materi lainnya. Untuk mengurangi kerugian tersebut, maka perlu diidentifikasi daerah-daerah yang rentan tsunami.

1.3. Tujuan dan Manfaat

1.3.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daerah rentan tsunami di pesisir Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur menggunakan QGIS kemudian mengidentifikasi wilayah-wilayah mana saja yang berada pada kelas sangat rentan.

1.3.2. Manfaat

Peta kerentanan yang dihasilkan dari studi ini dapat memberikan informasi kepada Pemerintah Daerah yang bersangkutan sebagai masukan data dalam upaya mitigasi untuk penyusunan rencana tata ruang wilayah (RTRW). Sehingga jumlah korban yang diakibatkan oleh bencana tsunami dapat diminimalisir dan dapat mengoptimalkan tujuan pembangunan fisik yang ditentukan.

1.4. Batasan Masalah

Kajian kerentanan tsunami dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian ini dibatasi pada pesisir Kabupaten Banyuwangi yang berbatasan langsung dengan garis pantai digunakan sebagai batas daratan dan sebagai batas di laut pada zona subduksi yang menjadi pusat gempa tsunami.

2. Parameter yang digunakan dalam pemodelan penjalaran gelombang tsunami adalah waktu tiba tsunami sampai ke daratan, dan tinggi run up tsunami.
3. Asumsi data bathimetri untuk model menggunakan bathimetri tahun 2017.
4. Sumber gempa dan parameter patahan berdasarkan sejarah tsunami yang pernah terjadi, yaitu pada tanggal 3 Juni 1994 dimana tsunami mencapai Kabupaten Banyuwangi dengan run up 3,5 m.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Pengertian Tsunami

Secara harfiah, tsunami berasal dari bahasa Jepang. “Tsu” berarti pelabuhan dan “Nami” adalah gelombang. Secara umum tsunami diartikan sebagai pasang atau gelombang laut yang besar di pelabuhan. Secara bebas dapat dideskripsikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh gangguan impulsif yang terjadi pada medium laut. Gangguan impulsif itu bisa berupa gempa bumi tektonik di laut, erupsi vulkanik (meletusnya gunung api) di laut, longsor (land-slide) di laut, atau jatuhnya meteor di laut (Diposaptono dan Budiman, 2005).

Bencana alam tsunami adalah bencana yang ditimbulkan oleh gelombang tsunami di suatu kawasan pantai atau pelabuhan yang mempunyai kondisi rentan terhadap tsunami (Hadi, 1997). Kawasan rentan bencana tsunami adalah kawasan dengan kondisi saat itu yang sering atau berpotensi mengalami bencana tsunami dan telah teridentifikasi pernah dan atau berpotensi mengalami bencana tsunami (Choirul, 1998).

Tsunami adalah sebuah gelombang panjang yang terjadi setelah sebuah gempa bumi, gempa laut, gunung berapi meletus atau hantaman meteor di laut. Tsunami tidak terlihat saat masih berada jauh di tengah lautan, akan tetapi begitu mencapai wilayah dangkal gelombangnya yang bergerak cepat ini akan semakin membesar. Seperti yang dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$C=\sqrt{(g*d)}, \tag{1}$$

dimana :

C = Celerity (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

d = kedalaman (m).

Tenaga setiap tsunami adalah tetap terhadap fungsi ketinggian dan kelajuannya (Sugito, 2008). Tsunami sendiri terjadi akibat adanya gempa bumi di

dasar laut. Tsunami dipicu oleh tanah longsor di dasar laut, adanya letusan gunung api pada permukaan dasar laut, dan juga jatuhnya meteor di tengah laut. Namun tidak semua peristiwa gempa bumi di dasar laut dapat mengakibatkan tsunami. Tsunami akan terjadi jika :

- a. pusat gempa berada di dasar laut
- b. kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km
- c. kekuatan gempa lebih dari 7 SR

Salah satu daerah di Provinsi Jawa Timur yang pernah dilanda bencana tsunami adalah wilayah pesisir Selatan Kabupaten Banyuwangi. Kejadian tsunami pada Tahun 1994 mengakibatkan kerusakan parah di daerah sepanjang pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi. Menurut data Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, yang dikutip oleh Prasetyo (2008) kejadian tsunami Tahun 1994 di wilayah kepebisiran bagian Selatan Jawa Timur telah mengakibatkan korban meninggal dunia sebanyak 377 jiwa, mengakibatkan orang hilang sebanyak 15 jiwa, orang yang mengalami luka-luka sebanyak 789 orang. Sementara itu kerusakan fisik rumah mencapai 992 rumah dengan kategori rusak ringan hingga rusak berat dan mengakibatkan hilangnya perahu nelayan di sepanjang pantai selatan sebanyak 340 buah.

Secara lebih detil diuraikan juga oleh Prasetyo (2008) bahwa terdapat berbagai variasi tinggi gelombang dan jarak jangkauan tsunami ke darat, antara lain tinggi gelombang 6,9 meter dengan jarak jangkauan ke pantai mencapai 300 meter terdapat di kawasan Grajagan, sedangkan di Lampon tinggi gelombang mencapai 11 meter dengan jarak jangkauan ke arah daratan sepanjang 300 meter. Sementara itu di kawasan pesisir Pancer tinggi gelombang mencapai 11 meter dengan jarak jangkauan sepanjang 300 meter ke arah daratan, di Rajegwesi tinggi gelombang mencapai 14 meter dengan jarak jangkauan 150 meter.

Pengetahuan tentang kondisi fisik kawasan pesisir sangat diperlukan, terutama untuk memberikan pemahaman pada masyarakat dan meningkatkan kesiap-siagaan (awareness) dari masyarakat lokal di kawasan rawan bencana (Marfai dkk 2008b; Marfai dan Khasanah 2009, Marfai 2011a). Pengetahuan dan

pemahaman tentang kondisi fisik sosial dan budaya suatu kawasan yang rawan terhadap bencana tsunami akan memberikan kontribusi informasi dan pengetahuan dalam kaitannya dengan perencanaan pengurangan risiko bencana. Pengetahuan dan pemahaman tentang kondisi fisik suatu wilayah dapat dikaji dan dipelajari melalui interpretasi data geo-spasial, dalam hal ini misalnya data peta rupa bumi, citra satelit dan lain sebagainya (Marfai dan Sekaranom 2012). Disamping dapat dipakai untuk analisis kerentanan (Hizbaron, et al., 2010), Pemahaman kondisi fisik dapat digunakan untuk perencanaan program kesiapsiagaan, misalnya memberikan kontribusi pada penentuan jalur evakuasi, perhitungan nilai kerugian dan lain sebagainya.

Pada penelitian Kameda (2011) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap tsunami adalah elevasi, kemiringan pantai, genangan tsunami, dan kepadatan penduduk. Dalam Mardiyanto (2013) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap tsunami adalah *run up* tsunami, elevasi, jarak daratan dari garis pantai, ada tidaknya sungai, penggunaan lahan, dan kepadatan penduduk. Dalam Sengaji (2009) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap tsunami adalah *run up* tsunami, elevasi, kemiringan pantai, morfometri pantai, penggunaan lahan, jarak daratan dari garis pantai, dan jarak dari sungai. Dalam Gersanandi (2013) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap tsunami adalah elevasi, jarak daratan dari garis pantai, penggunaan lahan, kepadatan penduduk, dan kepadatan bangunan. Dalam Eckert (2011) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap tsunami adalah elevasi, jenis bangunan, jumlah lantai dalam bangunan, jarak daratan dari garis pantai. Sedangkan dalam Mishra (2014) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap tsunami adalah *run up* tsunami, genangan tsunami, geomorfologi, dan topografi.

Dari kajian Tabel 2.1 di bawah ini, dapat disimpulkan bahwa parameter yang digunakan adalah kemiringan pantai, *run up* tsunami, geomorfologi, penggunaan lahan, kepadatan penduduk. Parameter yang diambil disesuaikan dengan lokasi penelitian, kebutuhan penelitian, dan ketersediaan data.

Tabel 2.1. Kajian Penelitian Parameter Tingkat Kerentanan Tsunami

Sumber Penelitian	Parameter yang Digunakan
Kameda (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevasi - Kemiringan pantai - Genangan tsunami - Kepadatan penduduk
Mardiyanto (2013)	<ul style="list-style-type: none"> - Run Up tsunami - Elevasi - Jarak daratan dari garis pantai - Ada tidaknya sungai - Penggunaan lahan - Kepadatan penduduk
Sengaji (2009)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Run up</i> tsunami - Elevasi - Kemiringan pantai - Morfometri pantai - Penggunaan lahan - Jarak daratan dari garis pantai - Jarak dari sungai
Gersanandi (2013)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevasi - Jarak daratan dari garis pantai - Penggunaan lahan - Kepadatan penduduk - Kepadatan bangunan
Eckert (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevasi - Jenis bangunan - Jumlah lantai dalam

	bangunan - Jarak daratan dari garis pantai
Mishra (2014)	- Run up tsunami - Genangan tsunami - Geomorfologi - Topografi

2. 2. Gempa Bumi

Dalam Oktiari (2010) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap gempa bumi adalah kepadatan penduduk, keberadaan objek vital, dan infrastruktur. Dalam Setyawan (2012) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap gempa bumi adalah tingkat kerusakan bangunan, struktur bangunan, amplifikasi tanah, bahan induk tanah, dan jarak daerah terhadap patahan. Sedangkan dalam Saputra (2010) disebutkan variabel yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap gempa bumi adalah geomorfologi, litologi, struktur geologi, percepatan pada batuan, dan tingkat kerusakan bangunan.

Tabel 2.2. Kajian Penelitian Parameter Tingkat Kerentanan Gempa Bumi

Sumber Penelitian	Parameter yang Digunakan
Oktiari (2010)	- Kepadatan penduduk - Keberadaan objek vital - Infrastruktur
Setyawan (2012)	- Amplifikasi tanah - Bahan induk tanah - Jarak daerah terhadap patahan
Saputra (2010)	- Geomorfologi - Litologi

	<ul style="list-style-type: none"> - Struktur geologi - Percepatan pada batuan - Tingkat kerusakan bangunan
--	--

Dari kajian Tabel 2.2 di atas, dapat disimpulkan bahwa parameter yang digunakan adalah litologi, geomorfologi, jarak daerah terhadap patahan, kepadatan penduduk, dan penggunaan lahan. Parameter yang diambil disesuaikan dengan lokasi penelitian, kebutuhan penelitian, dan ketersediaan data.

2. 3. Simulasi Tsunami

2. 3. 1. Persamaan Pembangkit

A. Fault Model

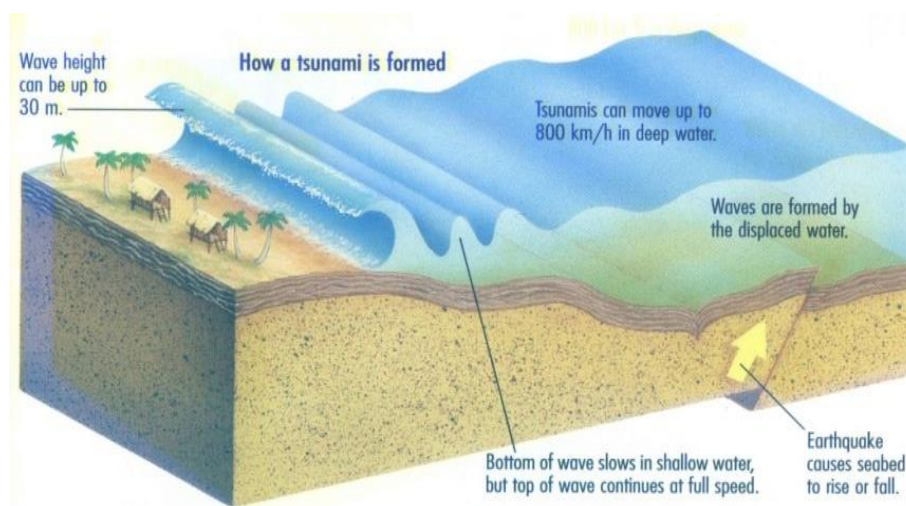
- **Gempa Bumi Dasar Laut**

Gempa bumi merupakan hentakan besar yang terjadi sekaligus akibat penimbunan energi elastik atau strain dalam waktu yang lama secara kontinuitas akibat dari adanya pergerakan lempeng tektonik. Sesungguhnya bergetar secara kontinu walaupun relatif kecil. Getaran tersebut tidak dikatakan sebagai gempa bumi karena sifat getarannya terus menerus, sedang gempa bumi memiliki waktu awal dan akhir terjadinya sangat jelas (Nandi, 2006).

Penyebab Terjadinya Gempa Bumi karena kegiatan tektonik. Gempa bumi mempunyai efek yang sangat besar sebenarnya berasal dari kegiatan tektonik. Gempa bumi terjadi karena adanya gaya-gaya tektonik yang telah berlangsung dalam proses pembentukan gunung-gunung, terjadinya patahan-patahan dan tarikan atau tekanan dari pergerakan lempeng-lempeng penyusun kerak bumi atau yang lebih sering disebut dengan lempeng tektonik (Nandi, 2006).

Tsunami yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh adanya rekahan di dasar laut. Untuk menimbulkan tsunami, rekahan tersebut harus sangat lebar dan panjang. Intinya adalah ketika rekahan dasar laut itu tiba-tiba terjadi, air laut volume besar akan tersedot ke dasar rekahan. Namun, karena permukaan laut akan segera menemui ketinggian normalnya kembali, air di sekitarnya dalam volume

besar akan mengisi penurunan permukaan tersebut. Proses harmonisasi kembali yang terjadi secara tiba-tiba itulah yang menciptakan efek gelombang ekstrem yang biasa disebut dengan tsunami (Winardi et al., 2006). Untuk lebih jelas mengenai mekanisme tsunami yang diakibatkan oleh gempa tektonik yang bersumber dari dasar laut, dapat dilihat pada gambar.



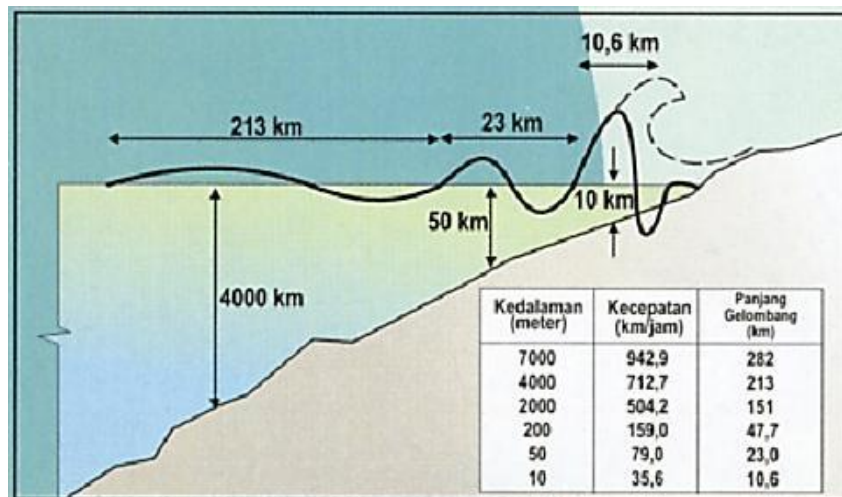
Gambar 2. 1. Mekanisme Terjadinya Tsunami yang Disebabkan oleh Gempa di Dasar Laut (Rais, 2008).

B. Penjalaran Gelombang Tsunami

Tsunami merambat dengan kekuatan dan kecepatan tinggi. Tsunami dapat mencapai panjang gelombang 240 km di laut terbuka dengan kecepatan gelombang mencapai 760 km/jam. Gelombang yang dibangkitkan oleh angin hanya menggerakkan air laut di bagian atas, sedangkan gelombang tsunami menggerakkan seluruh kolom air dari permukaan hingga ke dasar laut (Diposaptono dan Budiman, 2008).

Penjalaran tsunami dapat mencapai ribuan kilometer dengan kecepatan yang sangat tergantung pada kedalaman laut. Tsunami dapat menyebabkan korban jiwa, kerusakan bangunan, infrastruktur pembangunan dan budidaya, tumbuh-tumbuhan, menimbulkan genangan, kontaminasi air asin pada tanah, lahan pertanian dan air bersih (Vulcanological Survey of Indonesia).

Tsunami yang terjadi oleh berbagai penyebab di atas akan menjalar ke segala arah hingga ribuan kilometer dari pusat gempa atau lokasi pergeseran lempeng pada arah vertikal dengan kecepatan yang sangat tinggi. Beberapa kondisi geofisik dan ekologi pesisir dapat berpengaruh pada besarnya run-up tsunami yang mencapai daratan. Teluk dan bagian melekok di sepanjang pantai yang umumnya merupakan lokasi pemukiman nelayan, pelabuhan laut dan daerah penangkapan potensial di pesisir merupakan daerah rawan tsunami. Morfologi pantai yang cenderung menyempit tersebut mengakibatkan terakumulasi dan terkonsentrasinya energi gelombang tsunami yang berdampak pada gelombang tsunami menjadi semakin besar.

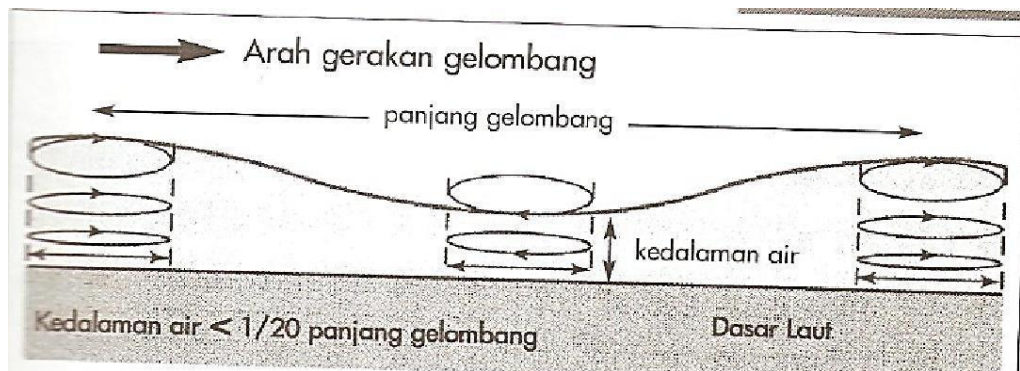


Gambar 2.2. Penjalaran Gelombang Tsunami (Diposaptono dan Budiman, 2006).

Gambar berikut didapat suatu kesimpulan mengenai gelombang di perairan dangkal, yaitu:

- Dari dasar laut sampai permukaan laut pergerakan bolak-balik dengan kecepatan yang hampir sama;
- Apabila sudah mendekati tepi pantai, orbit bundaran tidak tutup lagi karena dampak gesekan dasar laut;
- Panjang gelombang tsunami di permukaan ditemukan tergantung pada kekuatan gempa;

- d. Misalnya dengan kekuatan magnitude 7-9, sekitar 20-50 km. Tinggi gelombang di permukaan sekitar 2 m di laut dalam, biasanya awak kapal tidak sadar apabila tsunami melewati laut yang jauh dari darat;
- e. Butir air yang bergerak di dekat permukaan air berbentuk elips panjang dengan diameter panjangnya sampai 1 km. Sedangkan di dasar laut, butir air bergerak lurus berbolak-balik secara horizontal;
- f. Apabila memasuki wilayah laut dangkal, orbit bundaran tidak tutup lagi, maka air laut kedorong ke tepi pantai sehingga permukaan menaik;
- g. Apabila tsunami menabrak dinding laut atau pemecah gelombang, maka butir air tidak dapat melaju lagi. Oleh karena itu, sebagian besar energi kinetik dikonversi menjadi energi potensial. Sehingga gelombang tsunami tersebut menjadi gelombang yang berketinggian lebih dari 1,5 kali lipat daripada biasanya dan melewati pemecah gelombang, dan lainnya.



Gambar 2.3. Penjalaran Tsunami dan Pergerakan Partikel Air (Diposaptono dan Budiman, 2006).

C. Run-up Gelombang Tsunami

Wave run-up atau disebut juga batas uprush adalah tingginya jangkauan gelombang pecah sebagaimana gelombang mampumencapai pantai dan berbatasan penghalang pantai (alami maupun buatan), sampai energi gelombangnya berkurang akibat gesekan dan gravitasi. Karena banyaknya variable yang berpengaruh, maka besarnya run-up sangat sulit ditentukan secara analitis (Triatmodjo, 2008).

Menurut Fareo (2002), gelombang pecah menimbulkan run-up dan run-down yang diartikan sebagai elevasi muka air laut maksimum dan minimum yang diukur secara vertikal dari SWL. Run-up dan run-down tergantung pada beberapa faktor diantaranya tinggi dan kecuraman gelombang yang mengenai bangunan serta interaksi terkait refleksi gelombang, sudut kemiringan, kekasaran permukaan, daya serap, dan rembesan dari kemiringan. Nilai maksimal dari run-up ditentukan oleh kondisi laut dan sudut kemiringan yang dicapai pada kemiringan dengan struktur halus dan tidak dapat ditembus.

Run-up tsunami adalah ujung dari gelombang tsunami terjauh yang sampai ke daratan atau pantai. Tinggi run-up tsunami yaitu jarak vertikal antara ujung tsunami di pantai dengan titik nol muka laut (mean sea level). Tinggi run-up dan tinggi tsunami tergantung pada magnitudo gempa, morfologi dasar laut, dan bentuk pantai (Iyan, 2009).

Synolakis (1987) dalam Ester (2009) mengadakan penelitian laboratorium mengenai run-up tsunami untuk gelombang solitary yang mana penelitian run-up ini difokuskan pada pantai dengan kemiringan tertentu. Teori linier digunakan untuk menghitung run-up maksimum sedangkan teori nonlinier digunakan untuk menggambarkan pembangkitan gelombang soliternya. Kriteria gelombang pecah harus diperhitungkan untuk mengetahui apakah gelombang solitary tersebut pecah ketika menuju pantai ataukah pada saat run-down. Hasil yang didapatkan ditujukan untuk mendapatkan rumus empiris run-up.

Tsunami terutama yang dihasilkan oleh pergerakan dasar laut akibat gempa bumi memiliki gelombang panjang. Dalam teori gelombang tersebut, percepatan vertikal partikel air dapat diabaikan dibandingkan dengan percepatan gravitasi kecuali untuk perambatan tsunami samudra. Akibatnya, gerakan vertikal partikel air tidak berpengaruh pada distribusi tekanan. Ini adalah pendekatan yang baik bahwa tekanan tersebut adalah hidrostatik (Imamura *et al*, 2006). Berdasarkan perkiraan tersebut dan mengabaikan percepatan vertikal, persamaan konservasi massa dan momentum dalam masalah tiga dimensi yang dinyatakan dalam teori

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (10)$$

di mana x dan y adalah sumbu horisontal, z sumbu vertikal, waktu t , h kedalaman air, η perpindahan vertikal permukaan air di atas permukaan air, u , v dan w adalah kecepatan partikel air pada arah x , y , dan z , g percepatan gravitasi, dan τ_{ij} tegangan geser normal atau tangensial dalam arah $i=x,y$ dan z pada bidang normal j (Imamura *et al*, 2006).

Persamaan momentum dalam arah z -dengan kondisi dinamis di permukaan yang $p = 0$ menghasilkan tekanan hidrostatik $p = \rho g(\eta - z)$. Persamaan (8-11) dapat digunakan guna menyelesaikan persoalan perambatan gelombang dengan syarat batas. Kondisi dinamis dan kinetik di permukaan dan bawah diberikan sebagai berikut:

$$p = 0 \quad \text{pada } z = \eta \quad (11)$$

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad \text{pada } z = \eta \quad (12)$$

$$w = -u \frac{\partial h}{\partial x} - v \frac{\partial h}{\partial y} \quad \text{pada } z = -h \quad (13)$$

persamaan (8-11) diintegrasikan dari dasar laut ke permukaan dengan menggunakan aturan Leibnitz. Sebagai contoh, bentuk pertama dari persamaan momentum pada arah- x dapat ditulis ulang sebagai:

$$\int_{-h}^{\eta} \frac{\partial u}{\partial t} dz = \frac{\partial}{\partial t} \int_{-h}^{\eta} u dz - u \frac{\partial \eta}{\partial t} \Big|_{z=\eta} + u \frac{\partial(-h)}{\partial t} \Big|_{z=-h} \quad (14)$$

dengan menggunakan Kondisi dinamis dan kinetik pada persamaan (12-14), dihasilkan persamaan dua dimensi atau yang lebih dikenal teori Perairan dangkal sebagai berikut :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} = A \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (16)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_y}{\rho} = A \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (17)$$

dimana D adalah total kedalaman air diberikan $h+\eta$, τ_x dan τ_y gesekan pada dasar laut pada arah sumbu- x dan sumbu- y , A adalah viskositas arus horizontal yang diasumsikan konstan pada ruang, tegangan geser pada permukaan diabaikan. M dan N adalah fluks debit (Jumlah debit yang mengalir melalui luasan tertentu yang tegak lurus terhadap aliran air persatuan waktu) pada arah sumbu- x dan sumbu- y yang diberikan oleh Imamura *et al*, 2006 :

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = u(h + \eta) = uD \quad (18)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = v(h + \eta) = vD \quad (19)$$

- **Gesekan Dasar Laut**

Gesekan dasar laut secara umum diekspresikan sebagai berikut, dalam analogi aliran yang seragam,

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{1}{2g} \frac{f}{D^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (20)$$

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{1}{2g} \frac{f}{D^2} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (21)$$

dimana f adalah koefisien gesekan. Tanpa pembahasan lebih rinci dari nilai f ini lebih disukai menggunakan koefisien kekasaran Manning n yang sangat familiar dikalangan insinyur sipil. Nilai n akan diberikan pada Tabel 2.1 (Imamura *et al*, 2006).

Koefisien gesekan f dan koefisien kekasaran Manning dihubungkan oleh :

$$n = \sqrt{\frac{f D^{1/3}}{2g}} \quad (22)$$

ini berimplikasi bahwa f menjadi lebih besar ketika total kedalaman kecil sebagai n tetap hampir konstan. Dengan demikian gesekan dasar laut dapat diekspresikan oleh :

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (23)$$

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (24)$$

sepanjang model ini, ekspresi gesekan dasar laut pada persamaan (10-11) sering digunakan. Nilai dari n dipilih bergantung pada kondisi permukaan bawah laut yang diberikan dalam Tabel 2.1 (Rahdarian dan Niksokhan).

Tabel 2. 3. Nilai dari koefisien kekasaran Manning materi penyusun dasar laut n

NLCD Class number	NLCD Class name	Manning coefficient
11	Open water	0.020
12	Perennial ice/Snow	0.010
21	Developed open space	0.020
22	Developed low intensity	0.050
23	Developed medium intensity	0.100
24	Developed high intensity	0.130
31	Barren land (Rock/Sand/Clay)	0.090
32	Unconsolidated Shore	0.040
41	Deciduous forest	0.100
42	Evergreen forest	0.110
43	Mixed forest	0.100
51	Dwarf scrub	0.040
52	Shrub/Scrub	0.050
71	Grassland/Herbaceous	0.034
72	Sedge/Herbaceous	0.030
73	Lichens	0.027
74	Moss	0.025
81	Pasture/Hay	0.033
82	Cultivated crops	0.037

NLCD Class number	NLCD Class name	Manning coefficient
90	Woody wetlands	0.140
91	Palustrine forested wetland	0.100
92	Palustrine scrub/Shrub wetland	0.048
93	Estuarine forested wetland	0.100
94	Estuarine scrub/Shrub wetland	0.048
95	Emergent herbaceous wetland	0.045
96	Palustrine emergent wetland (Presistent)	0.045
97	Estuarine emergent wetland	0.045
98	Palustrine aquatic bed	0.015
99	Estuarine aquatic bed	0.015

2.3.2. Data Bathimetri dan Topografi

Data elevasi dan batimetri yang mempunyai kualitas dan resolusi tinggi sangat penting digunakan untuk memodelkan genangan. Informasi topografi garis pantai mempunyai peran yang sangat penting dalam perambatan gelombang tsunami dan prediksi ketinggian run-up dan genangan yang tepat. Data batimetri laut dalam diambil dari data General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO; 1.86 km) dari sumber sampai kedalaman 150 m di sepanjang pantai. Batimetri pesisir, yaitu dari kedalaman 150 meter ke pantai, diambil dari data C-MAP. Data topografi dihasilkan dari Cartosat-Digital Elevation Model (Cartosat-DEM). Cartosat DEM adalah salah satu resolusi DEM yang bagus yang tersedia di sepanjang pantai India yang memiliki resolusi horizontal 10 m dan akurasi vertikal 2-m.

- **Model ANUGA**

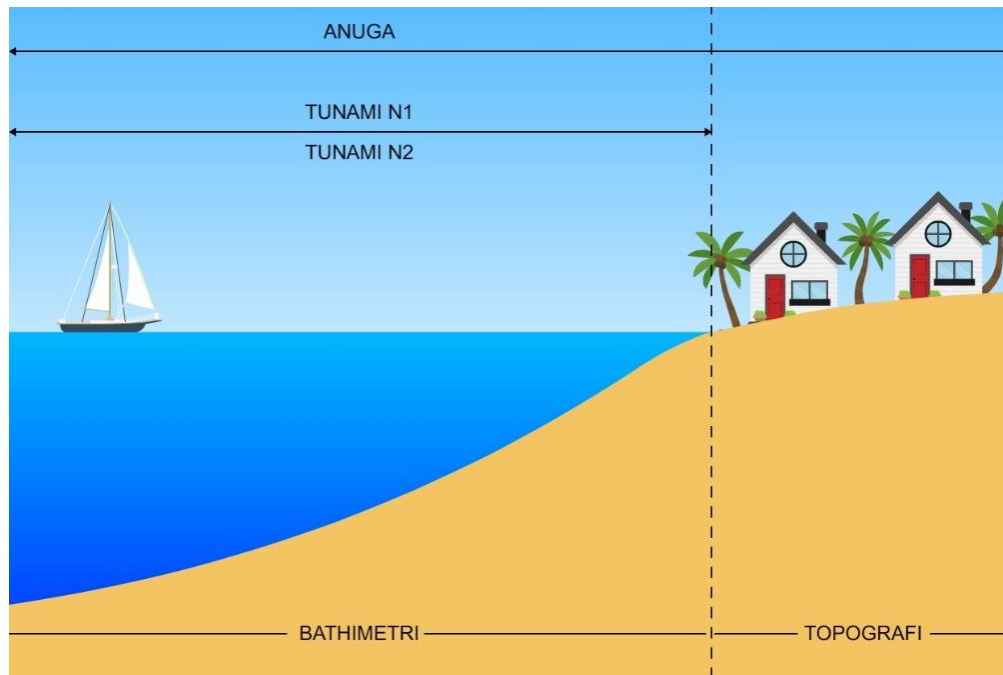
ANUGA adalah pemodelan hidrodinamik yang digunakan untuk memodelkan masalah arus realistik dalam geometri 2D yang kompleks. Contohnya untuk memodelkan kerusakan bendungan atau dampak bahaya alam seperti banjir sungai, gelombang badai dan tsunami.

Pada pengerjaannya harus ditentukan area studi yang diwakili oleh jaring sel segitiga, topografi dan batimetri, resistansi gesekan, nilai awal untuk tingkat air (disebut tahap dalam ANUGA), kondisi batas dan operator seperti curah hujan, aliran arus, tekanan angin atau gradien tekanan. ANUGA akan melacak evolusi kedalaman air dan momentum horisontal di dalam setiap sel dari waktu ke waktu dengan memecahkan persamaan gelombang air dangkal yang mengatur persamaan menggunakan metode volume terbatas.

ANUGA juga menggabungkan mesh generator yang memungkinkan untuk mengatur masalah geometri secara interaktif serta alat untuk menginterpolasi di permukaan, dan alat untuk memvisualisasikan hasil dari model. Sebagian besar komponen ANUGA ditulis dalam bahasa pemrograman berorientasi obyek Python dan sebagian besar dalam pengerjaan dengan model ANUGA akan berinteraksi dengan menulis program Python kecil berdasarkan fungsi perpustakaan ANUGA. Komputasional komponen intensif ditulis untuk efisiensi dalam rutinitas C yang bekerja secara langsung dengan struktur numpy Python (Roberts S., 2015).

ANUGA adalah paket Perangkat Lunak Bebas & Open Source (FOSS) yang mampu memodelkan dampaknya bencana hidrologi seperti kerusakan bendungan, banjir sungai, gelombang badai atau tsunami. ANUGA didasarkan pada Persamaan Gelombang Dangkal Air (SWWE) yang discretised ke segitiga tidak terstruktur menggunakan skema numerik. Kemampuan utama ANUGA adalah dapat memodelkan proses saat air masuk dan meninggalkan suatu daerah. Ini berarti cocok untuk simulasi aliran air ke pantai atau lahan kering dan disekitar bangunan. ANUGA juga mampu memodelkan arus sulit yang melibatkan gelombang dan kecepatan aliran (transisi dari aliran subkritis ke aliran sangat kritis).

Kelebihan ANUGA dibandingkan model lain (contoh : TUNAMI N-1, TUNAMI N-2) adalah bisa mengetahui run-up penjalaran gelombang tsunami sampai ke daratan.



Gambar 2. 4. Ilustrasi Model Anuga

Seperti pada gambar di atas bahwa model ANUGA dapat mengetahui run up gelombang yang terjadi sampai ke daratan. Model ANUGA sendiri mempunyai panduan modul untuk perlakuan boundary di darat sebagai cell basah- kering.

Selain berbagai kemudahan yang ada, ANUGA juga memiliki kelemahan diantaranya model ANUGA merupakan model 2 dimensi sehingga tidak bisa dipakai untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan konvensi vertical seperti turbulen 3 dimensi. Untuk koordinat yang digunakan sebagai masukan model harus dalam proyeksi UTM (Universal Tranverse Mercator). Model ANUGA juga tidak bisa digunakan untuk menyelesaikan areal yang lebih luas dari 1 zona UTM atau sekitar 6 derajat.

Anuga merupakan metode untuk memecahkan persamaan gelombang air dangkal (Zoppou dan Roberts, 1999). Daerah studi diwakili oleh mesh sel-sel segitiga di mana kedalaman air h , dan momentum horizontal (uh , vh). Ukuran

segitiga mungkin bervariasi dalam mesh untuk memungkinkan resolusi yang lebih besar di daerah yang akan dikaji.

Anuga menggunakan persamaan gelombang perairan dangkal sebagai persamaan utamanya. Persamaan gelombang air dangkal adalah sistem persamaan konservasi diferensial dari bentuk (Mungkasi, 2012).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = S$$

di mana $U = [h \quad uh \quad vh]^T$ adalah vektor jumlah; kedalaman air h , x momentum uh dan y momentum vh . Dimana nilai $w = z + h$ berlaku benar. Fluks dalam x dan y arah, E dan G diberikan oleh

$$E = \begin{bmatrix} u^2h + gh^2/2 \\ uvh \end{bmatrix} \text{ dan } G = \begin{bmatrix} v^2h + gh^2/2 \\ vuh \end{bmatrix}$$

dan sumber yang mencakup gravitasi dan gesekan diberikan oleh

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(S_0x - Sfx) \\ gh(S_0y - Sfy) \end{bmatrix}$$

di mana S_0 adalah kemiringan slope dan S_f adalah gesekan. Istilah gesekan dimodelkan menggunakan Hukum Manning.

$$Sfx = \frac{u\eta^2\sqrt{u^2 - v^2}}{h^{4/3}} \text{ dan } Sfy = \frac{v\eta^2\sqrt{u^2 - v^2}}{h^{4/3}}$$

di mana η adalah koefisien resistansi Manning.

Persamaan diperoleh dengan mengintegrasikan diferensial persamaan konservasi di setiap sel mesh. Dengan menerapkan teorema divergensi yang kita peroleh setiap sel persamaan yang menggambarkan tingkat perubahan rata-rata jumlah yang dalam setiap sel, dalam hal fluks di seluruh tepi sel dan efek dari sumbernya. Secara khusus, persamaan tingkat yang terkait dengan setiap sel memiliki bentuk

$$A_i \frac{dU_i}{dt} + \sum_j (F_{ij} n_{ij} + G_{ij} n_{ij2}) l_{ij} = A_i S_i$$

di mana subskrip i merujuk ke sel, A_i adalah daerah sel yang terkait, U_i vektor rata-rata jumlah dan S_i adalah istilah sumber yang terkait dengan setiap sel. Subscript ij mengacu pada ke- j dari sel ke- i , yaitu sesuai ke sel i . Kita gunakan $F_{ij} n_{ij1} + G_{ij} n_{ij2}$ untuk menunjukkan fluks yang keluar dari materi di seberang ij , dan gunakan l_{ij} untuk menunjukkan panjang ij tepi.

Dari nilai rata-rata yang dikonservasi kuantitas di masing-masing sel, kami menggunakan kedua perintah rekonstruksi untuk menghasilkan representasi jumlah sebagai nilai linear (vektor) yang berfungsi. Fungsi ini dibolehkan terputus-putus di ujung-ujung sel, tetapi kemiringan fungsi ini terbatas untuk dihindari osilasi yang tidak perlu. Di setiap tepi, fungsi direkonstruksi umumnya terputus-putus.

Metode Godunov (Toro, 1992) biasanya melibatkan aproksimasi fluks di sepanjang tepi tepatnya memecahkan satu dimensi yang sesuai. Kami menggunakan skema dari Kurganov et al. (2001) untuk menghitung aproksimasi fluks di setiap sisi.

Kami akhirnya mendapatkan metode pembaruan sepenuhnya dengan menggunakan variasi total yang mengurangi Runge-Kutta metode (TVD-RK) seperti yang dijelaskan oleh Shu dan Osher (1988) untuk mendiskritkan persamaan laju. Output model terdiri dari nilai untuk w , u dan v di setiap titik sudut pada setiap waktu.

Tabel 2.4 Tahapan – tahapan dalam Anuga

No	Nama Program	Modul	Fungsi
1.	Mesh Generation	Pmesh.mesh_interface	Membuat jaring-jaring segitiga triangulasi untuk dasar daerah pemodelan
		Interface.py	Mengatur interior di dalam jarring-jaring segitiga triangulasi
2.	Initialising the Domain	Abstract _2d_finite.volumes.domain	Membuat struktur memasukkan dan memanipulasi data di areal pemodelan
3.	Initial Conditions	Abstract _2d_finite.volumes.domain	Menyusun scenario model
4.	Boundary Conditions	Abstract _2d_finite.volumes.domain	Menentukan batas-batas model
5.	Forcing Terms	Shallow_water.shallow_water_domain	Memasukkan tenaga input model
6.	Evolution	Abstract _2d_finite.volumes.domain	Menyusun output model

Nielsen (2006) memaparkan mengenai model hidrodinamik untuk memodelkan coastal inundation (rob) yang dikembangkan oleh Australia National University dan Geoscience Asutralia, yang disebut dengan ANUGA. Banjir merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Australia. Banjir pada daerah pesisir tidak hanya diakibatkan oleh meluapnya aliran sungai tetapi lebih banyak dikarenakan oleh badai yang terjadi di lautan. Genangan yang terjadi di pesisir ini sangat berkaitan dengan kondisi pasang surut laut, batimetri, dan topografi. Aplikasi model ini telah digunakan untuk mensimulasikan dampak dari tsunami di

Wollongong, New South Wales. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ANUGA merupakan model yang kuat dan fleksibel dengan menyelesaikan masalah di perairan dangkal.

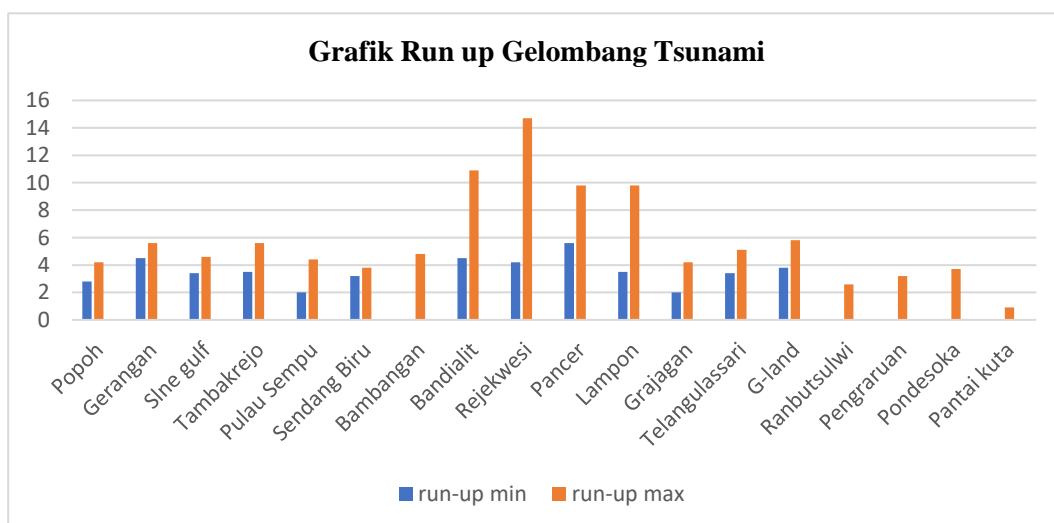
2.3.3. Digital Elevation Model

Data DEM dapat dimanfaatkan untuk pembuatan tampilan citra tiga dimensi dan animasi. Hasil dari kajian terhadap model pengolahan data DEM ini akan memberikan informasi yang sangat bermanfaat pada kegiatan selanjutnya dalam kaitannya dengan pengelolaan wilayah pesisir. Sebagai contoh, informasi yang di dapat dari data DEM seperti morfologi dasar laut, ketinggian daratan, kelerengan daratan dan lain-lain dapat digunakan sebagai parameter penentu daerah rawan bencana (vulnerability assessment).

Pemanfaatan data citra satelit dan data DEM yang dipadukan dengan data lapangan pada intinya dapat memberikan kemudahan, lebih efisien dan lebih akurat dalam pembuatan peta-peta tematik, baik sebagai parameter utama maupun parameter penimbang. Demikian pula dalam proses analisis morfometri, dapat dimasukkan analisis tiga dimensi (3D) sehingga visualisasi hasil kajian akan lebih nyata dan menarik (www.lapanrs.com).

2.3.4. Validasi Model

Pada gambar grafik yang tersedia merupakan grafik run up gelombang tsunami yang terjadi pada tahun 1994 di pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi.



Gambar 2. 5. Grafik Run up Gelombang Tsunami Tahun 1994

Daerah	Run-up terendah (m)	Run-up tertinggi (m)
Popoh	2.8	4.2
Gerangan	4.5	5.6
Slne gulf	3.4	4.6
Tambakrejo	3.5	5.6
Pulau Sempu	2	4.4
Sendang Biru	3.2	3.8
Bambangan	-	4.8
Bandialit	4.5	10.9
Rajegwesi	4.2	14.7
Pancer	5.6	9.8
Lampon	3.5	9.8
Grajagan	2	4.2
Telangulassari	3.4	5.1
G-land	3.8	5.8
Ranbutsulwi	-	2.6
Pengraruan	-	3.2
Pondesoka	-	3.7
Pantai kuta	-	0.9

Tabel 2. 5. Data Run up Gelombang Tsunami Di Pesisir Banyuwangi, Jawa Timur

Validasi model sederhana dilakukan dengan membandingkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Di desa Pancer, run up maksimum yang terjadi berkisar antara 5,6-9,8 m. Kecepatan run up tsunami diperkirakan sebesar 4,0 m/s dan erosi substansial hadir di pantai yang menghadap desa Pancer berkisar antara 3.5 – 9.8 m. dan besarnya gelombang horizontal yang datang sebesar 750 m. Untuk desa Lampon, run up maksimum terjadi berkisar antara 1,8 -8,9 m. Gelombang horizontal yang datang dari depan sebesar 115 m.

Untuk wilayah pantai Rajegwesi memiliki horizontal 400 m, run up yang terjadi dari 4.2-14.7 m, high step 1,8 m. Untuk topografi di Pantai Rajegwesi dominan rawa dengan kemiringan pantai yang rendah dan mempunyai ketinggian 1,8 m.

Di desa Grajagan sendiri hanya terjadi kerusakan kecil. Dimana kerusakan terjadi di Pantai G-camp dan Pantai Plengkung, dengan ditemukannya pecahan-pecahan terumbu karang yang berserakan di sekitar kedua pantai tersebut. Sedangkan data yang diketahui akibat tsunami di Pulau Sempu di dapat nilai runup 2 – 4.4 m. Juga, terjadi erosi garis pantai yang signifikan dan transportasi sedimen yang teramati di teluk kecil ini yang sampai ke timur laut desa nelayan menunjukkan bahwa daerah ini mungkin telah terkena dampak tsunami (C. Synolakis, *et.al*, 1995).

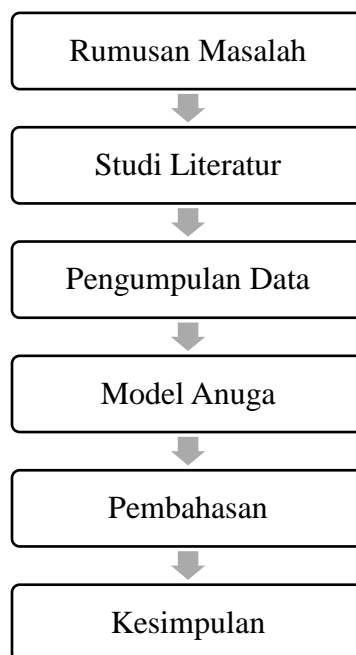
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini direncanakan berlokasi di Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Untuk pelaksanaan penelitian dan pengolahan hasil sendiri direncanakan selama empat bulan.

3.2 Sistematika Penelitian



Gambar 3. 1. Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian thesis ini direncanakan akan ditempuh selama empat bulan, adapun kegiatan – kegiatannya terdiri dari :

1. Perumusan masalah, tahapan ini meliputi identifikasi masalah yang menjadi arah dan fokus dalam penelitian. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bencana tsunami serupa dapat terjadi di masa depan, namun tidak dapat diprediksi besarnya kerugian yang ditimbulkan akibat bencana tsunami, terutama korban jiwa, kerusakan fasilitas umum dan kerugian materi lainnya. Untuk mengurangi kerugian tersebut, maka perlu diidentifikasi daerah-daerah yang rentan tsunami.

2. Pada tahap ini dilakukan studi literatur terhadap beberapa penelitian yang dianggap berhubungan dan relevan terhadap penelitian ini. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui perkembangan penelitian lain dalam kurun beberapa tahun terakhir pada pembahasan atau topik yang sama dengan topik penelitian yang akan dilakukan.
3. Pengumpulan data, pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang akan digunakan dalam pengolahan model ANUGA.
4. Model ANUGA, merupakan model yang digunakan untuk pengolahan data dimana hasil akhirnya untuk mengetahui daerah rentan tsunami.
5. Hasil dan pembahasan, merupakan analisa dari hasil pengolahan data.
6. Kesimpulan, merupakan jawaban dari tujuan penelitian.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam analisa laboratorium adalah perangkat *notebook* ASUS A455L dengan spesifikasi Processor Intel Core i3-4005U, 1,7Ghz, HDD 500GB, dan RAM 2GB. Untuk menganalisa data peta rupabumi Banyuwangi, menggunakan bantuan QGIS, dan untuk menganalisa penjalaran gelombang menggunakan bantuan *software* ANUGA. Untuk lebih jelas mengenai peralatan dan *software* yang digunakan di laboratorium, dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Peralatan dan software yang Digunakan di Laboratorium

No.	Alat	Merk	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Seperangkat <i>Notebook</i>	ASUS A455L	Core i3- 4005U,1,7Ghz HDD 500GB RAM 2GB	Pengolahan Data
2.	<i>Software</i> QGIS			Pembuatan Peta
3.	<i>Software</i> ANUGA			Simulasi Tsunami
4.	Gebco			Data Batimetri

3.4 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Citra Landsat
2. Data parameter gempa tanggal 03 Juni 1994 dari USGS/CMT
3. Data batimetri dan topografi perairan Selatan Jawa dari GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) (www.gebco.net).

3.5 Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kualitatif :

- Metode Kualitatif ini digunakan untuk menganalisa data yang berbentuk non numerik atau data-data yang tidak diterjemahkan dalam bentuk angka-angka dengan menggunakan analisa deskriptif dan analisa overlay peta hasil digitasi.
- Analisa deskriptif adalah analisa yang menggunakan uraian kualitatif tentang temuan atau data, hubungan antar data, rekaman fotografi ataupun peta merupakan data yang harus dijelaskan secara deskriptif. Dalam aplikasinya, analisa ini perlu dibantu dengan data kuantitatif terutama dalam bentuk tabulasi, sehingga hasilnya memiliki tingkat validasi yang tinggi.
- Overlay peta hasil digitasi merupakan suatu teknik analisa data yang memilahmilah kondisi wilayah sesuai dengan kondisi potensi wilayah tersebut berdasarkan aspek penataan ruang.

Secara garis besar metodologi yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi tahap-tahap sebagai berikut:

1. Persiapan peta-peta dan data pendukungnya.
2. Penentuan parameter-parameter yang berpengaruh.
3. Pengolahan data parameter-parameter.
4. Analisa daerah rentan tsunami.
5. Penentuan daerah rentan tsunami.

3.6 Dokumentasi Jadwal dan Pengerjaan Model

Pada tahap dokumentasi sistem ini akan dilakukan penulisan laporan hasil penelitian dari setiap tahapan yang dilakukan. Tujuan dari tahapan ini adalah menghasilkan dokumentasi tertulis dari penelitian yang dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil dan Analisis



Gambar 4. 1. Peta Batas Desa Daerah Studi

Di pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi terdapat beberapa obyek wisata yang berupa pantai, beberapa yang terkenal adalah Pantai Mustika Pancer, Pantai Pulau Merah, Pantai Rajegwesi, dan Pantai Wedi Ireng. Pantai Mustika Pancer terletak di antara Pantai Pulau Merah dan Pantai Pancer. Tepatnya terletak di Dusun Pancer, Desa Sumber Agung, Kabupaten Banyuwangi.

Pantai Mustika Pancer memiliki kontur pantai yang landai. Pantai ini dikenal sebagai kawasan desa nelayan, masyarakat setempat bermata pencaharian mencari ikan. Terdapat dermaga, tempat pelelangan ikan (TPI), berbagai jenis ikan laut segar hasil tangkapan nelayan pun mudah dijumpai.

Pantai Pulau Merah terletak di Desa Sumber Agung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi. Pantai Pulau Merah memiliki pasir putih yang terhampar luas sepanjang 3 km. Dan tidak jauh dari bibir pantai tersebut

terdapat bukit kecil yang memiliki tinggi 200 m. Ketinggian ombak di Pantai Pulau Merah sekitar 2 meter dengan panjang kurang lebih 300 meter.

Pantai Rajegwesi terletak di Desa Sarongan, Kecamatan Pesanggaran, Banyuwangi, Jawa Timur. Karena adanya sungai yang bermuara ke laut di sekitar pantai maka dari itu pasir pantai berwarna coklat akibat endapan lumpur yang dibawa sungai yang bermuara di pantai ini saat banjir.

Pantai Wedi Ireng terletak di Dusun Pancer, Desa Sumber Agung, Kecamatan Pesanggrahan, Kabupaten Banyuwangi. Pantai ini apabila dilihat dengan menggunakan citra satelit tampak seperti huruf “W”. Pantai Wedi Ireng mempunyai dua sisi pantai, yaitu sisi barat dan sisi timur.

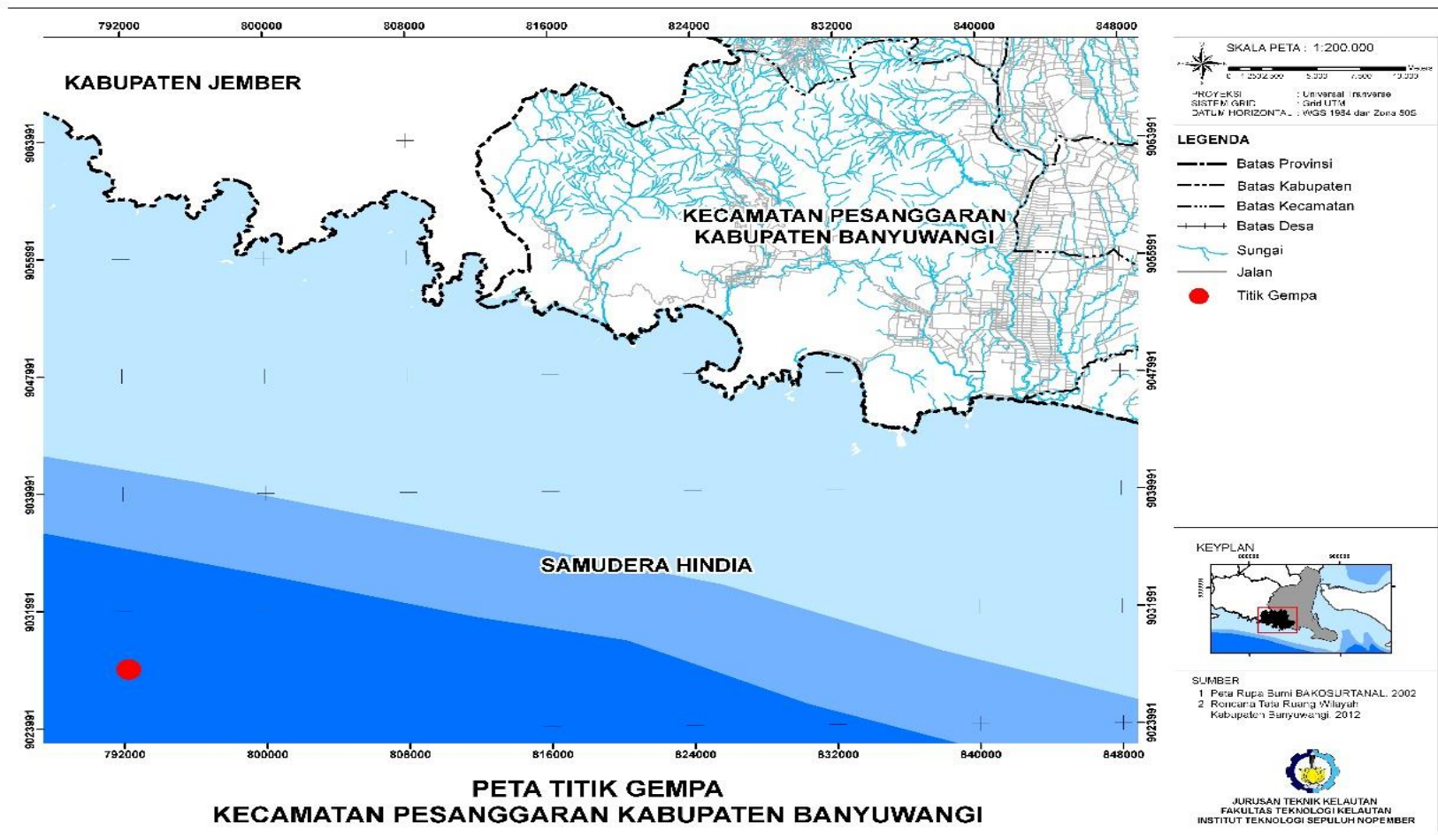
Diketahui pada gambar 4.1 bahwa Teluk Rajegwesi yang mempunyai bentuk corong dan menghadap ke Samudera Hindia sangat cocok bagi perkembangan gelombang tsunami. Bentuk corong pantai ini dapat membuat gelombang tsunami teramplifikasi adalah ukuran panjang sisi dan sudutnya, yaitu mempunyai sudut 30° dan memiliki bentuk corong segitiga sama sisi.

Akan tetapi hal ini tidak bernilai mutlak karena gelombang tsunami juga tergantung dari panjang dan tinggi gelombangnya yang memasuki daerah corong pantai.



Gambar 4. 2. Peta Bathimetri dan Topografi

Dilihat dari karakteristik fisik potensi bencana tsunami dan dampaknya, Kabupaten Banyuwangi yang terletak pada koordinat antara $7^{\circ} 34' - 8^{\circ} 46'$ LS dan $113^{\circ} 53' - 114^{\circ} 38'$ Bujur Timur. Disebutkan Banyuwangi dalam angka (2008) memiliki luas kabupaten 5.782,50 km² dan secara topografi memiliki daerah ketinggian yang bervariasi dari 0 sampai 200 mdpl. Kabupaten Banyuwangi bagian selatan, barat, dan utara pada umumnya merupakan daerah pegunungan. Sementara untuk daerah dataran terbentang dari bagian selatan hingga utara. Berdasarkan data penggunaan lahan di Kabupaten Banyuwangi terdiri dari 31,70% merupakan kawasan hutan dan untuk lahan sisanya digunakan sebagai daerah permukiman, sawah, ladang, dan tambak.



Gambar 4.3. Peta Titik Gempa di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi pada Tahun 1994

Pada Gambar 4.3 menunjukkan titik pusat gempa yang terjadi di Kabupaten Banyuwangi pada tahun 1994.

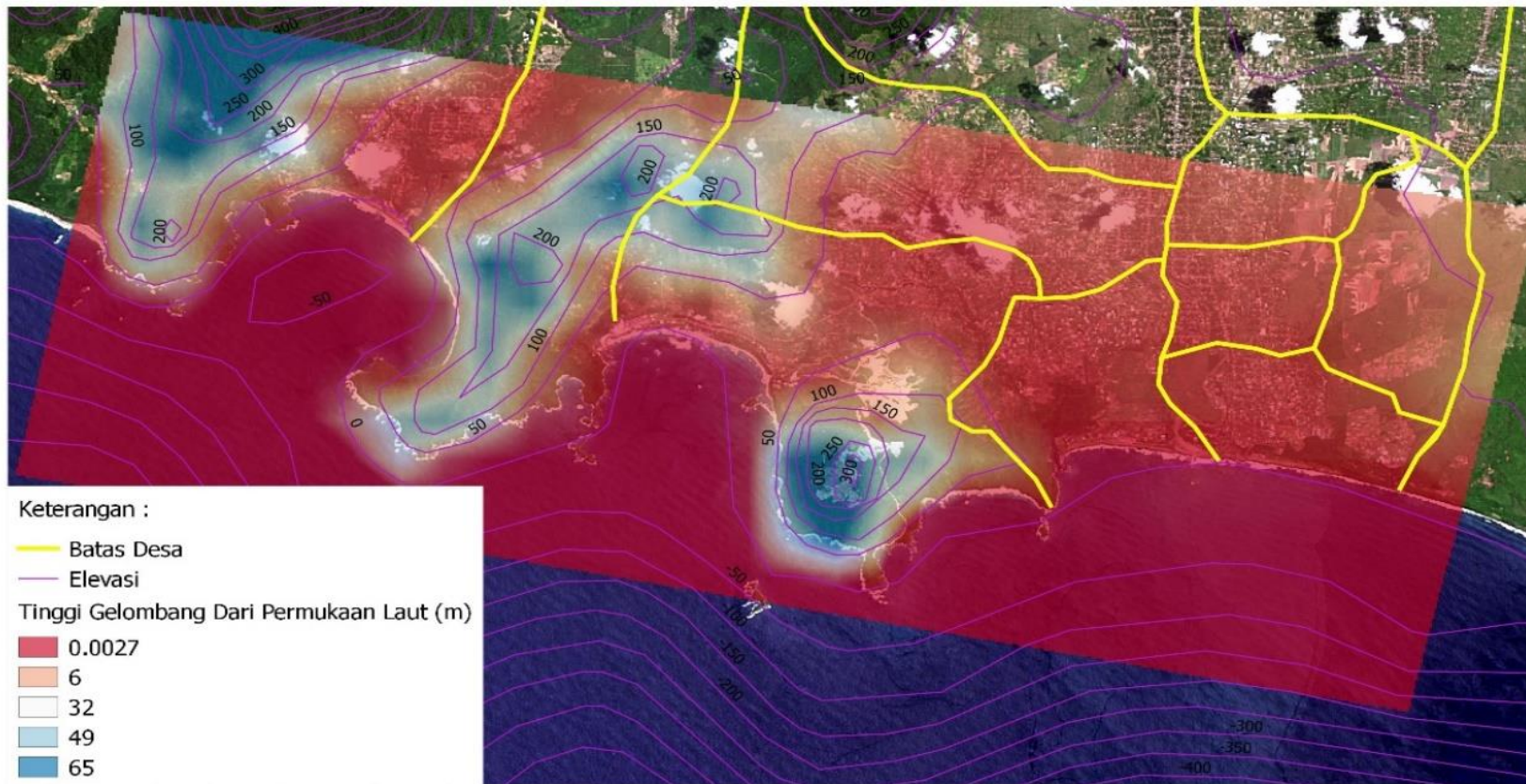
Pantai Mustika Pancer yang terletak di Desa Sumberagung, Kabupaten Banyuwangi merupakan daerah yang rawan gempa. Kejadian gempa yang terjadi di lautan lepas di dekat perairan Pantai Pancer, Desa Sumberagung dapat menimbulkan potensi kejadian tsunami.

Pantai Mustika Pancer di Desa Sumberagung merupakan daerah yang sangat strategis karena berada di kawasan dengan topografi datar. Kawasan ini dilihat dari geomorfologinya berada di daerah teluk dengan topografi disekitarnya yang berbukit.

Pantai Mustika Pancer merupakan daerah yang sangat rawan terhadap potensi gempa tsunami karena mempunyai topografi datar dan berada pada daerah teluk Pancamaya (Gambar 4.4) Gelombang tsunami yang akan datang dari arah teluk Pancamaya akan diakumulasikan di daerah dengan topografi datar ini. Sementara itu pemanfaatan lahan pada dataran rendah tersebut sebagian merupakan kawasan permukiman penduduk.

Menurut Marfai (2011a) kebanyakan kawasan pesisir dicirikan dengan pemanfaatan lahan yang dinamis dan kompleks. Penggunaan lahan yang kompleks tersebut merupakan salah satu faktor mengapa di kawasan pesisir merupakan kawasan yang rawan terhadap kejadian bencana. Penggunaan lahan yang kompleks tersebut juga dapat mengakibatkan terjadinya degradasi lingkungan (Marfai 2005), seperti terjadinya pencemaran, kerusakan kawasan, memicu meningkatnya erosi (Marfai 2011). Dalam perkembangannya di masa yang akan datang dan dengan melihat trend pertumbuhan permukiman serta penggunaan lahan lainnya di daerah penelitian, permasalahan lingkungan yang telah disebutkan diatas dapat saja terjadi dan merupakan ancaman bagi pelaksanaan pembangunan.

Dengan menggunakan data analisis model elevasi, seperti pemanfaatan garis kontur dan titik ketinggian, kawasan rawan genangan akibat bencana dapat diidentifikasi. Marfai (2006) mengenalkan analisis elevasi medan untuk pemetaan bencana. Data elevasi medan dalam bentuk digital elevation model (DEM) juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan pemetaan genangan di kawasan pesisir (Marfai dkk 2012).



Gambar 4. 4. Peta Ketinggian Gelombang

Peta ketinggian gelombang dari permukaan diperoleh dari hasil pengolahan nilai data stage pada modeling dan di overlay menggunakan citra untuk mengetahui nilai ketinggian gelombang dan daerah inundasinya. Nilai data stage adalah ketinggian data gelombang yang dihitung dari permukaan air laut, sehingga nilai gelombang yang hanya beberapa cm pun akan mempunyai nilai yang sangat tinggi walaupun berada di topografi yang tinggi.

Pada gambar 4.4 bisa dilihat hasil dari pengolahan modeling dengan mengoverlay menggunakan citra landsat dan diperoleh hasil berupa nilai ketinggian gelombang yang mencapai ke daratan. Dengan melihat hasil pada gambar peta tersebut dapat diketahui daerah yang berwarna biru muda mempunyai tingkat kerawanan yang lebih tinggi dibanding dengan daerah yang memiliki warna kuning ataupun orange. Hal ini dikarenakan gelombang tsunami yang datang saat mencapai daratan akan membelok saat bertubrukan dengan pulau kecil dan teluk yang ada didepannya.

Dalam gambar 4.4 bisa dilihat untuk daerah yang berwarna biru muda merupakan daratan yang tergenang air laut akibat tsunami yang paling parah dibanding dengan daerah sekitarnya. Hal ini terjadi karena daerah tersebut berhadapan dengan lepas pantai secara langsung. Maka saat datangnya tsunami secara otomatis daerah tersebut akan terkena dampak paling parah dari bencana tsunami.

Dari hasil validasi model sederhana yang dilakukan dengan membandingkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Di desa Sumber Agung memiliki ketinggian run up maksimum yang terjadi berkisar 5,6 m. Kecepatan run up tsunami diperkirakan sebesar 4,0 m/s. Dan erosi substansial di pantai yang menghadap ke desa Sumber Agung berkisar antara 3.5 – 9.8 m. Dan untuk nilai besarnya gelombang horizontal yang datang sebesar 750 m.

Untuk wilayah pantai Rajegwesi memiliki horizontal 400 m dengan run up gelombang yang terjadi dari 4.2 m. Untuk topografi di Patai Rajegwesi dominan rawa dengan kemiringan pantai yang rendah dan mempunyai ketinggian 1,8 m dan pasir yang berlumpur karena adanya aliran muara sungai ke laut yang membawa material sungai berupa endapan lumpur.

4.2. Run -Up Gelombang di Pesisir Selatan Kabupaten Banyuwangi

Sesuai yang ditampilkan pada gambar 4.4 dalam penjalarannya menuju pantai karena ada perubahan kedalaman akan menyebabkan karakteristik dan arah gelombang air laut dapat berubah. Semakin mendekati pantai maka penjalaran gelombang akan dipengaruhi oleh bentuk morfologi pantai. Gelombang laut akan mulai berubah karakteristiknya ketika memasuki zona nearshore, dimana pada suatu keadaan pantai dengan kedalaman lautnya sama dengan panjang setengah gelombang. Pada keadaan ini nilai kecepatan gelombang akan menurun akan tetapi tinggi gelombang akan meningkat. Semakin mendekati daerah pantai yang dangkal atau mendekati daratan maka tinggi gelombang akan meningkat. Hal ini diikuti dengan adanya proses refraksi gelombang yang menjalar sepanjang dinding dan difraksi yang membuat gelombang semakin kuat dan tinggi. Bangunan, tanjung, dan dinding pantai juga menyebabkan tingginya gelombang.

Dengan melihat hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa bentuk pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi berupa tanjung dan teluk. Hal ini mempunyai pengaruh besar terhadap penejalaran gelombang menuju pantai dan daratan.

4.3. Erosi Pantai

Variabel yang digunakan dalam perhitungan tingkat kerentanan terhadap ancaman erosi pantai adalah kemiringan pantai.

Kemiringan Pantai (KP)

Variabel kemiringan pantai merupakan salah satu variabel penting dalam perhitungan kerentanan terhadap erosi. Semakin kecil tingkat kemiringan suatu wilayah maka semakin rendah tingkat kerentanan terhadap erosi. Variabel kemiringan pantai berhubungan dengan variabel geomorfologi, dimana kondisi kemiringan $> 15\%$ sebagian besar merupakan terjal curam mudah terkikis sehingga sangat rentan terhadap ancaman erosi pantai. Penilaian variabel kemiringan pantai parameter tingkat kerentanan terhadap ancaman bencana erosi disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Variabel Kemiringan Pantai Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Erosi Pantai

Variabel	Besaran Deskripsi	Klasifikasi Tingkat Kerentanan	Skor
Kemiringan Pantai (%)	< 2	Sangat rendah	1
	2 – 5	Rendah	2
	5 – 10	Sedang	3
	10 – 15	Tinggi	4
	> 15	Sangat Tinggi	5

Sumber : Wahyudi, 2008 dalam Sukmaning, 2014

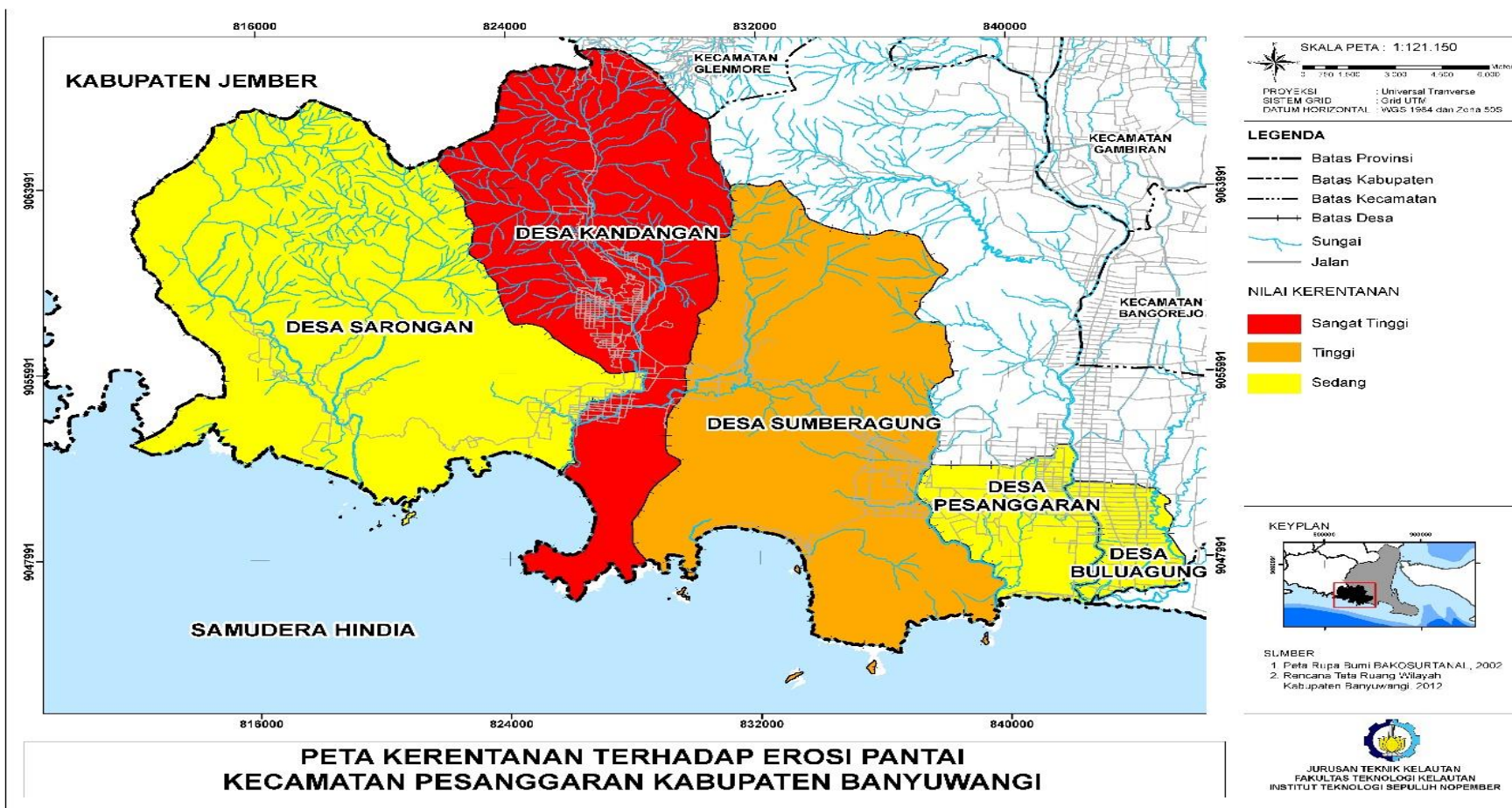
Berdasarkan perhitungan kemiringan pantai beberapa desa pesisir pantai di kecamatan Pesanggaran didapatkan bahwa Desa Barongan memiliki kemiringan 9,5 %, Desa Sumberagung memiliki kemiringan 10,1 %, Desa Pesanggaran memiliki kemiringan 7,4 %, Desa Buluagung memiliki kemiringan 5,8 %, dan Desa Kandangan memiliki kemiringan 40,9 %. Sehingga Desa Barongan, Pesanggaran dan Buluagung termasuk dalam skor 3 (tiga), Desa Sumberagung termasuk dalam skor 4 (empat), dan Desa Kandangan termasuk dalam skor 5 (lima). Klasifikasi tingkat kerentanan terhadap kemiringan pantai disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Kemiringan Pantai Terhadap Erosi Pantai

Desa	Kemiringan Pantai (%)	Skor	Klasifikasi Tingkat Kerentanan
Barongan	9,5	3	Sedang
Sumberagung	10,1	4	Tinggi
Pesanggaran	7,4	3	Sedang
Buluagung	5,8	3	Sedang
Kandangan	40,9	5	Sangat Tinggi

Sumber : Olahan Data

Berdasarkan perhitungan kemiringan pantai di beberapa desa pesisir pantai di kecamatan Pesanggaran maka didapatkan dalam bentuk klasifikasi tingkat kerentanan terhadap kemiringan pantai yang disajikan dalam bentuk peta kerentanan seperti pada gambar.



Gambar 4.5. Peta Kerentanan Terhadap Erosi Pantai di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi

4.4. Gempa Bumi

1. Jarak Terhadap Patahan

Variabel jarak terhadap patahan menunjukkan jarak daerah penelitian dari sumber gempa. Semakin dekat suatu daerah terhadap sumber gempa maka memiliki potensi kerusakan semakin tinggi sehingga semakin rentan. Sebaliknya, semakin jauh suatu daerah dari sumber gempa maka semakin rendah tingkat kerentanannya terhadap kerusakan akibat gempa bumi. Penilaian variabel jarak terhadap patahan parameter tingkat kerentanan terhadap ancaman bencana gempa bumi disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Variabel Jarak Terhadap Patahan Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Gempa Bumi

Variabel	Besaran Deskripsi	Klasifikasi Tingkat Kerentanan	Skor
Jarak Terhadap Patahan (km)	>350	Sangat Rendah	1
	250-350	Rendah	2
	150-250	Sedang	3
	100-150	Tinggi	4
	<100	Sangat Tinggi	5

Sumber : Wahyudi, 2008 dalam Sukmaning, 2014

Perhitungan jarak daratan terhadap sumber gempa didapatkan dari pengolahan data dari aplikasi *Google Earth*. Titik sumber gempa diasumsikan sesuai dengan kejadian gempa terbesar sebelumnya di sekitar selatan Kabupaten Banyuwangi yaitu gempa bumi tahun 1994 pada titik 10,70° LS – 112,82° BT menurut BMG ; Kompas, 5 Juni 1994 (dalam Budi Brahmantyo, dkk., 1999) di kedalaman 33 km dan kekuatan 5,9 Skala Richter.

Berdasarkan interval kelas variabel jarak terhadap patahan pada tabel di atas kemudian hasil analisa data jarak terhadap patahan yang telah dihitung tiap kecamatan ditinjau. Jarak titik sumber gempa tersebut ke Kecamatan Pesanggaran adalah 208 km. Sehingga didapatkan bahwa kelima desa di dalam kecamatan

Pesanggrahan yang menjadi sumber data tersebut termasuk dalam interval kelas dengan skor 3 (tiga).

2. Kepadatan Penduduk

Kabupaten Banyuwangi tergolong daerah yang belum padat penduduknya. Kepadatan penduduk di Kabupaten Banyuwangi dengan luas 5.782,50 km², pada tahun 2017 Kabupaten Banyuwangi didiami oleh 1.692.324 jiwa atau dengan kepadatan sebesar 292.66 jiwa/km². Dengan kata lain rata-rata setiap km² di Kabupaten Banyuwangi didiami sebanyak 293 jiwa pada tahun 2017.

Tabel 4.4. Kepadatan Penduduk Kabupaten Banyuwangi Tahun 2017

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk n (jiwa)	Luas Wilayah Km ²	Kepadatan Penduduk
1	Pesanggaran	32,531	802.5	41
2	Bangorejo	50,549	137.43	368
3	Purwoharjo	68,533	200.3	342
4	Tegaldlimo	66,616	1,341.12	50
5	Muncar	133,484	146.07	914
6	Cluring	77,748	97.44	798
7	Gambiran	65,735	66.77	984
8	Srono	95,171	100.77	944
9	Genteng	90,488	82.34	1099
10	Glenmore	75,222	421.98	178
11	Kalibaru	67,220	406.76	165
12	Singojuruh	53,093	59.89	887
13	Rogojampi	57,827		
14	Kabat	65,859		
15	Glagah	36,205	76.75	472
16	Banyuwangi	120,333	30.13	3994
17	Giri	30,689	21.31	1440
18	Wongsorejo	82,306	464.8	177
19	Songgon	59,391	301.84	197

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Luas Wilayah	Kepadatan
20	Sempu	86,027	174.83	492
21	Kalipuro	85,985	310.03	277
22	Siliragung	49,805	95.15	523
23	Tegalsari	52,820	65.23	810
24	Licin	30,537	169.25	182
25	Blimbingsari	58,160		
	JUMLAH	1,692,324	5782.5	293

Sumber : Data dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil diolah (tahun 2017)

Variabel kepadatan penduduk merupakan salah satu parameter penting dalam perhitungan tingkat kerentanan terhadap ancaman bencana, karena dampak dari bencana akan dirasakan oleh penduduk. Peningkatan kepadatan penduduk beriringan dengan peningkatan kebutuhan dan peningkatan kerentanan. Semakin padat suatu wilayah maka semakin rentan wilayah tersebut dari dampak bencana. Penilaian variabel kepadatan penduduk parameter tingkat kerentanan terhadap ancaman bencana gempa bumi disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Variabel Kepadatan Penduduk Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Gempa Bumi

Variabel	Besaran Deskripsi	Klasifikasi Tingkat Kerentanan	Skor
Kepadatan Penduduk (orang/km ²)	>500	Sangat Rendah	1
	500 – 1.000	Rendah	2
	1.000 – 1.500	Sedang	3
	1.500 – 2.000	Tinggi	4
	<2.000	Sangat Tinggi	5

Sumber : Wahyudi, 2008 dalam Sukmaning, 2014

Data kepadatan penduduk tiap kecamatan didapatkan dari Badan Pusat Statistik dalam Kecamatan Dalam Angka Tahun 2017. Data kepadatan penduduk dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.6. Variabel Kepadatan Penduduk Tiap Desa Parameter Tingkat Kerentanan Terhadap Gempa Bumi

No	Nama Desa	Jumlah Penduduk n (jiwa)	Luas Wilayah Km ²	Kepadatan Penduduk
1	Kandangan	8,609	18.06	476.69
2	Pesanggaran	14,481	2.63	5,506.08
3	Sarongan			
4	Sumberagung	13,936	6.99	1,993.71
5	Sumbermulyo	6,809	5.64	1,207.27

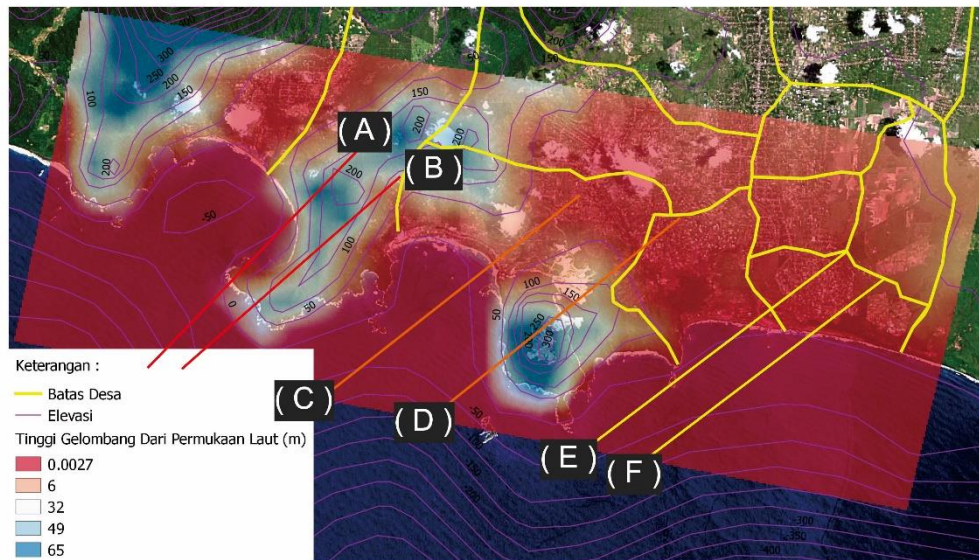
Sumber : Wikipedia

Data kepadatan penduduk tiap desa didapatkan dari data Wikipedia. Data kepadatan penduduk dapat dilihat pada Tabel 4.6. Berdasarkan interval kelas variabel kepadatan penduduk pada tabel di atas kemudian hasil analisa data kepadatan penduduk yang telah dihitung tiap desa ditinjau. Desa Kandangan memiliki kepadatan penduduk 476.69 orang/km². Desa Pesanggaran memiliki kepadatan penduduk 5,506.08 orang/km². Desa Sumberagung memiliki kepadatan penduduk 1,993.71 orang/km². Desa Sumbermulyo memiliki kepadatan penduduk 1,207.27 orang/km². Sehingga didapatkan bahwa Desa Kandangan termasuk dalam kelas skor 1 (satu). Desa Sumberagung dan Sumbermulyo termasuk dalam kelas skor 4 (empat). Sedangkan Desa Pesanggaran termasuk dalam kelas skor 5 (lima).

Pada Gambar 4.6 menunjukkan Peta kepadatan penduduk Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi yang telah dianalisa dan dihitung berdasarkan sumber data yang ada.

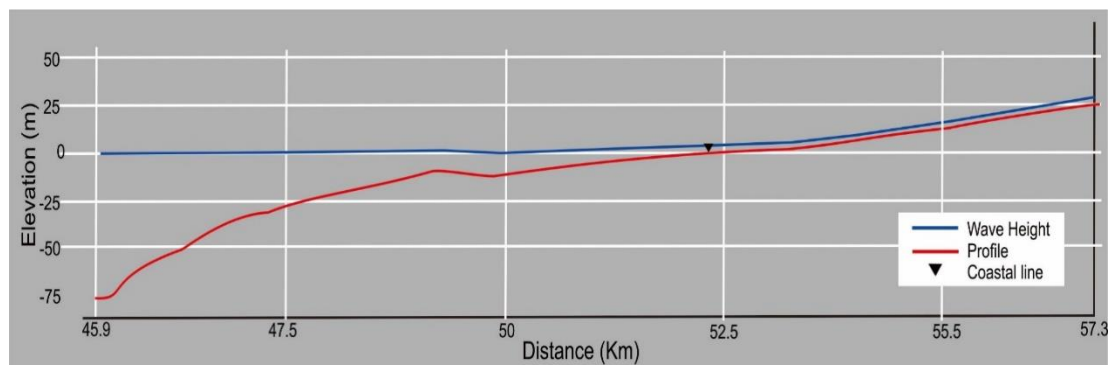


Gambar 4.6. Peta Kepadatan Penduduk Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi



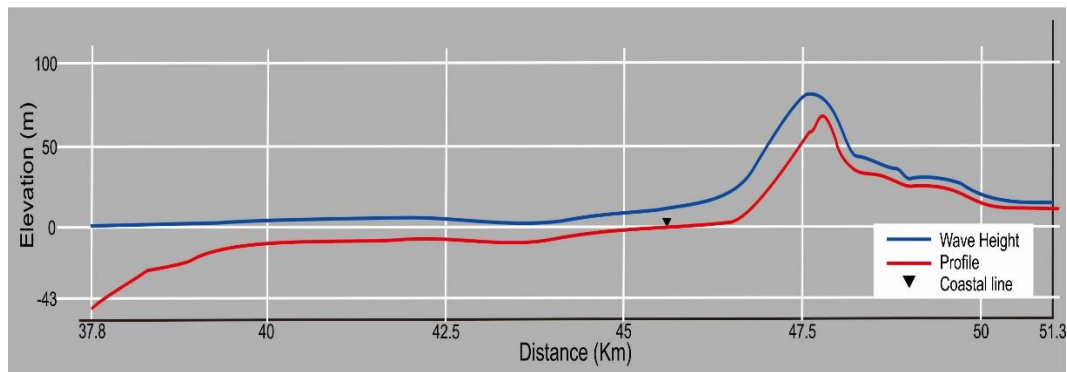
Gambar 4.7. Gambar Lokasi Potongan Cross Section

Pada gambar di atas dijelaskan untuk garis yang berwarna kuning adalah garis pada daerah tingkat kerawanan sedang, untuk garis berwarna orange pada daerah tingkat kerawanan tinggi dan garis yang berwarna merah untuk tingkat kerawanan sangat tinggi.



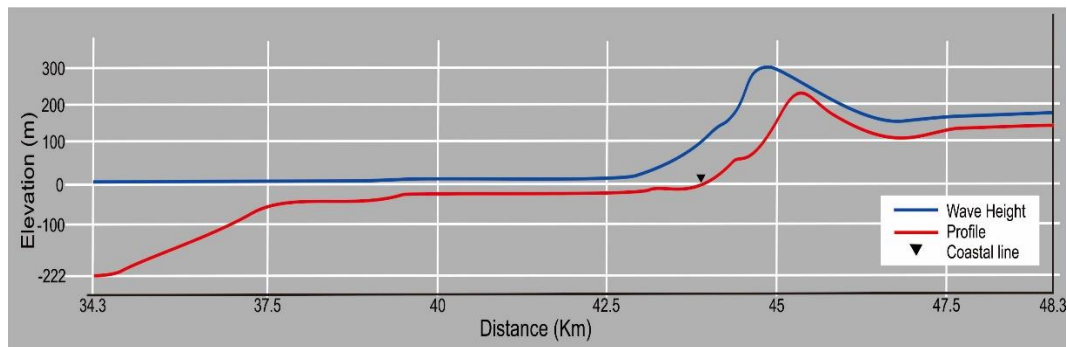
Gambar 4.8. Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 1

Pada gambar 4.8. grafik ketinggian gelombang pada daerah tingkat kerawanan sedang. Terlihat garis merah adalah profile gelombang yang bergerak menuju ke daratan. Ketika sampai di darat gelombang mencapai ketinggian kurang lebih 5-6 m dan memiliki tinggi elevasi muka air sekitar laut 25 m.



Gambar 4.9. Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 2

Untuk gambar 4.9 ketinggian gelombang pada daerah tingkat kerawanan tinggi memiliki ketinggian gelombang air laut yang menuju daratan berkisar antara 30-50 m dengan tinggi elevasi muka air laut sekitar 30 m.

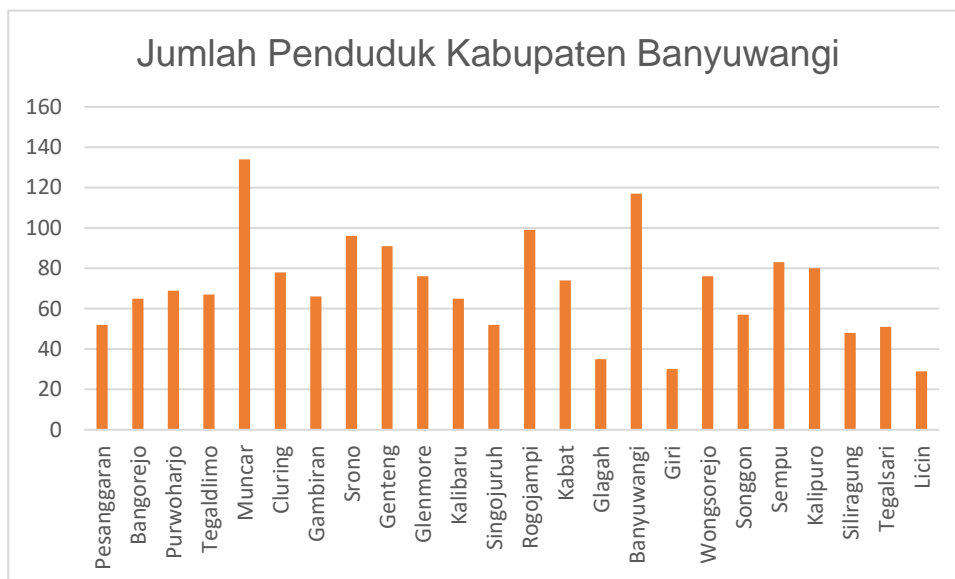


Gambar 4.10. Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 3

Pada gambar 4.10 terlihat pada grafik tinggi gelombang di daerah yang memiliki tingkat kerawanan sangat tinggi gelombang yang menuju daratan memiliki ketinggian sekitar 50-70 m dengan tinggi elevasi air laut 100 m.

Dari ketiga gambar grafik di atas tidak terjadi perubahan yang signifikan dikarenakan saat gelombang air laut bergerak menuju daratan dan tiba di daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi dan sedang gelombang sudah terhalang dengan adanya daratan yang menjorok ke laut dan adanya teluk.

4. 5. Mitigasi Bencana



Gambar 4.11. Grafik Data Kepadatan Penduduk Kabupaten Banyuwangi

Kepadatan penduduk di Kabupaten Banyuwangi dengan luas 5.782,50 km², pada tahun 2017 Kabupaten Banyuwangi didiami oleh 1.692.324 jiwa atau dengan kepadatan sebesar 292.66 jiwa/km². Dengan kata lain rata-rata setiap km² di Kabupaten Banyuwangi didiami sebanyak 293 jiwa pada tahun 2017. Terdiri dari 838.856 jiwa laki-laki dan 829.582 jiwa perempuan, penduduk ini tersebar di 24 Kecamatan yaitu Kecamatan Pesanggaran, Bangorejo, Purwoharjo, Tegaldelimo, Muncar, Cluring, Gambiran, Srono, Genteng, Glenmore, Kalibaru, Singojuruh, Rogojampi, Kabat, Glagah, Banyuwangi, Giri, Wongsorejo, Songgon, Sempu, Kalipuro, Siliragung, Tegalsari, Licin.

Penduduk terbesar terdapat di Kecamatan Muncar yaitu 134.065 Jiwa(7,97%), sedangkan Kecamatan Licin memiliki jumlah penduduk terkecil 28.525 Jiwa (1,69%).

Tabel 4.7. Jumlah Penduduk menurut Kecamatan dan Jenis Kelamin

No	Kecamatan	Laki - laki		Perempuan		L + P	
		n (jiwa)	%	n (jiwa)	%	n (jiwa)	%
1	Pesanggaran	26.34	3.11	25.87	3.09	52.21	3.10
2	Bangorejo	32.66	3.85	31.73	3.79	64.39	3.82
3	Purwoharjo	34.79	4.10	34.01	4.06	68.79	4.08
4	Tegaldlimo	33.81	3.99	33.19	3.96	66.99	3.98
5	Muncar	68.10	8.03	65.97	7.88	134.06	7.69
6	Cluring	39.49	4.66	38.69	4.62	78.18	4.64
7	Gambiran	33.08	3.90	32.83	3.92	65.90	3.91
8	Srono	48.48	5.72	47.20	5.64	95.68	5.68
9	Genteng	45.89	5.41	44.87	5.36	90.77	5.39
10	Glenmore	37.87	4.47	37.84	4.52	75.71	4.49
11	Kalibaru	32.34	3.82	32.28	3.86	64.64	3.84
12	Singojuruh	26.06	3.07	26.06	3.11	52.12	3.09
13	Rogojampi	49.33	5.82	49.72	5.94	99.05	5.88
14	Kabat	36.98	4.36	36.55	4.37	73.53	4.36
15	Glagah	17.54	2.07	17.89	2.14	35.43	2.10
16	Banyuwangi	57.48	6.78	58.69	7.01	116.17	6.89
17	Giri	14.86	1.75	15.00	1.79	29.86	1.77
18	Wongsorejo	38.04	4.49	37.63	4.49	75.67	4.45
19	Sempu	41.58	4.91	40.75	4.87	82.34	4.89

20	Kalipuro	40.31	4.76	39.84	4.76	80.15	4.76
21	Siliragung	24.28	2.86	23.35	2.79	47.63	2.83
22	Tegalsari	25.60	3.02	24.89	2.97	50.49	3.00
23	Licin	14.38	1.70	14.15	1.69	28.52	1.69
Jumlah		847.66	100.00	837.32	100.00	1.684.985	100.00

Sumber : Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Banyuwangi, Tahun 2017

Jika diperhatikan menurut jenis kelamin nampak bahwa penduduk laki-laki (50,28 %) lebih banyak dibandingkan dengan jumlah penduduk perempuan (49,72 %). Dari angka yang diperoleh tersebut dapat dianalisa bahwa proses evakuasi apabila terjadi bencana tsunami akan lebih cepat prosesnya.

Dilihat dari tingginya tingkat kerawanan bencana yang akan dihadapi oleh masyarakat di kawasan pesisir, menjadi sangat penting untuk melihat bagaimana masyarakat yang ada di sana melakukan persiapan dan kesiapsiagaan menghadapi bencana.

Dengan kondisi daerah pesisir Kabupaten Banyuwangi yang sangat rawan terhadap bencana tsunami dan dengan mempertimbangkan dari segala aspek serta berbagai potensi bencana alam lainnya, maka Pemerintah Kabupaten Banyuwangi melakukan penanganan dan penanggulangan bencana yang melibatkan segenap aparat pemerintah setempat dan masyarakat.

Mitigasi bencana tsunami di pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi dapat dilakukan dalam beberapa cara, yaitu cara struktural dan tidak struktural. Untuk cara structural bisa dilakukan dengan pembangunan penghalang laju gelombang tsunami. Seperti pembuatan gumuk pasir, menanam mangrove, membuat tanggul dan pemasangan system peringatan dini. Kendala utama yang dialami dalam pembangunan system peringatan dini yang akan diterapkan di pesisir Pantai Selatan Jawa Timur adalah karena relative dekatnya sumber gempa yang dapat menghasilkan gelombang tsunami dengan pantai.

Cara tidak struktural yang dapat dilakukan diantaranya dengan melakukan identifikasi wilayah rawan tsunami yang belum teridentifikasi sebelumnya. Seperti mengidentifikasi wilayah teluk yang mempunyai bentuk seperti corong (Gambar

4.1) dengan melakukan overlay daerah yang rawan tsunami dengan data kepadatan penduduk dan data fasilitas umum yang ada. Setelah itu dapat dilakukan sosialisai pengetahuan bahaya tsunami kepada warga yang tinggal di daerah yang sudah teridentifikasi rawan bencana tsunami dan melakukan penentuan jalur evakuasi.

Untuk kondisi sekarang sudah banyak infrastruktur yang telah berdiri di kawasan Pesisir Selatan Kabupaten Banyuwangi. Baik kawasan yang berupa pemukiman penduduk maupun kawasan industri yang berupa daerah wisata dan perhotelan. Sementara bencana tsunami dapat melanda kapan pun dan mengancam keberadaan kawasan tersebut. Melakukan pemindahan infrastruktur yang sudah ada ke daerah yang lebih aman bukan merupakan solusi yang tepat karena akan menghabiskan dana yang cukup besar. Hal efektif yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi dampak yang timbul apabila suatu saat nanti terjadi bencana tsunami serta melakukan upaya konservasi dan penataan kawasan yang belum termanfaatkan dengan baik. Dalam hal ini melakukan evaluasi wilayah tata ruang dengan berpedoman pada hasil kajian daerah kerawanan.

Untuk upaya tindakan mitigasi bencana di Pesisir Selatan Kabupaten Banyuwangi merupakan tanggung jawab antara Pemerintah dan masyarakat. Nilai kerugian yang ditanggung akan lebih besar apabila strategi perencanaan tata ruang wilayah dan pembangunan tidak memperhatikan daerah zonasi bencana. Oleh karena itu pengkajian resiko bencana sangat diperlukan agar pembangunan wilayah dan perencanaan tata ruang wilayah di Pesisir Selatan Kabupaten Banyuwangi dapat dilakukan sesuai dengan prinsip pembangunan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

Desa di wilayah pesisir Kabupaten Banyuwangi yang mempunyai nilai tingkat kerentanan tsunami yang tinggi adalah Desa Pesanggaran, Desa Barongan, Desa Kandangan dan Desa Sumberagung. Hal ini dilihat berdasarkan nilai ketinggian gelombang yang masuk ke daratan dan ditentukan dengan klasifikasi menggunakan warna.

Desa Sumberagung di Kabupaten Banyuwangi, khususnya kawasan Pantai Mustika Pancer merupakan daerah yang sangat rawan bencana tsunami. Kejadian tsunami pada tahun 1994 yang melanda pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi telah mengakibatkan kerugian yang sangat besar. Morfologi di Kabupaten Banyuwangi secara umum merupakan daerah dataran dan daerah perbukitan. Untuk kawasan dataran pantai dimanfaatkan sebagai permukiman dan persawahan, sementara kawasan perbukitan digunakan untuk tegalan dan hutan. Seperti pada gambar dilihat morfologi pantai berupa teluk dan terdapat dataran yang rendah merupakan kawasan yang sangat rawan terhadap dampak bencana tsunami.

Upaya mitigasi yang dilakukan di wilayah pesisir Pantai Selatan Kabupaten Banyuwangi belum dilakukan secara maksimal. Sehingga diperlukan adanya sosialisasi kepada warga di pesisir.

Berdasarkan dari data hasil kepadatan penduduk di pesisir selatan Kabupaten Banyuwangi dapat disimpulkan bahwa jumlah penduduk jenis kelamin laki-laki lebih banyak dibandingkan perempuan, hal ini yang mendasari apabila terjadi bencana tsunami maka proses evakuasi akan menjadi lebih cepat.

Perlu dilakukan identifikasi daerah rawan yang belum teridentifikasi dengan pengidentifikasian bentuk pantai yang menyerupai corong dan dioverlay dengan data kepadatan penduduk dan fasilitas yang ada agar dapat dilakukan penataan ruang daerah.

5.2. Saran

Pemodelan penjalaran gelombang tsunami pada penelitian ini belum diperoleh hasil pengukuran luas genangan dan luas daerah kerusakan. Sehingga penulis berharap agar penelitian Kerentanan Tsunami yang akan datang dapat memperoleh hasil pemodelan luas genangan agar diperoleh hasil yang lebih spesifik. Agar dapat dihasilkan peta jalur evakuasi dan mitigasi tsunami untuk pesisir Kabupaten Banyuwangi.

DAFTAR PUSTAKA

- Banyuwangi dalam angka (2008). Profil Kabupaten Banyuwangi. Pemerintah Daerah kabupaten Banyuwangi.
- Bolt H., and Mc Donald, 1975. *Geological Hazard*. Springer – Verlag, BERLIN Heidelberg.
- Brahmantyo B., Sampurno, dan Bandono, 1999., Penataan Ruang Kawasan Pantai Potensial Bencana Tsunami Dengan Morfologi Sebagai Parameter Kontrol.
- Choirul, M.H. 1998. *Analisis Resiko Bencana Tsunami Banyuwangi 1994 dengan Pemodelan Sistem Informasi Geografis*. [Skripsi]. Institut Teknologi Bandung. Bandung, 50hlm.
- Diposaptono, S. & Budiman, 2005, *Tsunami*, Penerbit Buku Ilmiah Populer. Bogor.
- Diposapto S., dan Budiman. 2006. *Tsunami*. Buku Ilmiah Populer, Jakarta.
- Diposaptono dan Budiman. 2008. *Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami*. Penerbit Buku Ilmiah Populer, Bogor, 384 hlm.
- Edwards, J., M. Gustafsson, and B. Näslund-Landenmark. 2007. *Handbook for Vulnerability Mapping. Disaster Reduction through Awareness, Preparedness and Prevention Mechanisms in Coastal Settlements in Asia*, 18 p.
- Eckert, Sandra, dkk. Remote Sensing-based Assessment of Tsunami Vulnerability and Risk in Alexandria, Egypt. *Applied Geography* 32, Elsevier, hal. 714-723. 2013.
- Gersanandi, dkk. Analisa Spasial Kerentanan Bencana Tsunami di Kabupaten dan Kota Pesisir Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Oseanografi*. Vol2, No. 3, hal 232-237. 2013.
- Hizbaron, D. R., D.S. Hadmoko, G. Samodra, S.A. Dalimunthe, dan J. Sartohadi (2007) Tinjauan Kerentanan, Risiko dan Zonasi Rawan Bahaya Rockfall di Kulonprogo, Yogyakarta, *Forum Geografi*. Vol. 24 (2). pp. 119 - 136.

- Ken Sukmaning G. H. Studi Kerentanan Bencana Alam Wilayah Pesisir Kabupaten Banyuwangi. Surabaya. 2014
- Kurganov, A., S. Noelle, and G. Petrova (2001), Semidiscrete central-upwind schemes for hyperbolic conservation laws and HamiltonJacobi equations, *SIAM Journal of Scientific Computing*, 23(3), 707–740.
- Imamura, F., Yalciner, A. C. & Ozyurt, G. 2006. *Tsunami Modelling Manual (Tunami Model)*.
- Jawa Pos, 28 Juni 1994. Ada ‘Keanehan” Pada Musibah Tsunami di Pesisir Banyuwangi, Kepala BMG Jelaskan Penelitian Para Pakar.
- Julkarnaen, Dodi. 2008. *Identifikasi Tingkat Resiko Bencana Tsunami Berbasis Spasial di Kawasan Industri Kota Cilegon*. Tesis. Magister Institut Teknologi Bandung. Tidak dipublikasikan. 106 hlm.
- Kameda, R. Tsunami Vulnerability Assement Crisis Mapping of Actual Tsunami Damage in Miyagi, Japan. 2011.
- Kusumawardhani, Anindita D, 2012. *Pemanfaatan Model Hidrodinamika Untuk Estimasi Genangan Rob Di Teluk Jakarta*. Jakarta.
- Kompas, 5 Juni 1994. Bencana di Jawa Timur, Korban Tewas 185 Orang.
- Mardiyanto, B., dkk. Kajian Kerentanan Tsunami Menggunakan Metode Sistem Informasi Geografi di Kabupaten Bantul, DIY. *Journal of Marine Research*. Volume 2 No. 1 hal 103-111. 2013.
- Marfai MA (2005). *Moralitas Lingkungan, Refleksi Kritis Atas Krisis Lingkungan Berkelanjutan*. Kreasi Wacana dan Wahana Hijau Yogyakarta.
- Marfai MA (2006). Analisis Neighbourhood operations dalam Sistem Informasi Geografis Berbasis Raster dan Aplikasinya. Seminar National Aplikasi Teknologi Informasi. 17 Juni 2006. Hal 7-12. Yogyakarta, Indonesia <http://snati.informatika.web.id>
- Marfai MA (2011a). Impact of coastal inundation to ecology and agricultural land use, Case in Central Java Indonesia. *International Journal of Quaestiones*

Geographicae. Pages 19-32. DOI 10.2478/v10117-011-0024-y 30(3): 19-32.

Marfai MA dan Khasanah T (2009). Kerawanan dan kemampuan adaptasi masyarakat pesisir terhadap bahaya banjir genangan dan tsunami. *Laporan Penelitian*. Hibah Penelitian Bencana dan Budaya. CRCS. Sekolah Pasca Sarjana UGM.

Marfai MA, Sekaranom AB (2012). Sistem Informasi Geografis dan Peranannya untuk Analisis Bahaya Banjir. *Proceeding Seminar National Pemanfaatan Teknologi SIG Dan PJ untuk Analisis Kebencanaan Berbasis Pengurangan Risiko*. Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Press. ISBN: 978-979-636-137-3.

Marfai MA, King L, Sartohadi J, Sudrajat S, Budiani SR, Yulianto F (2008b). The impact of tidal flooding on a coastal community in Semarang, Indonesia. *Environmentalist*, 28: 237-248.

Marfai MA, Sekaranom AB (2012). Sistem Informasi Geografis dan Peranannya untuk Analisis Bahaya Banjir. *Proceeding Seminar National Pemanfaatan Teknologi SIG Dan PJ untuk Analisis Kebencanaan Berbasis Pengurangan Risiko*. Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Press. ISBN: 978-979-636-137-3.

Mishra, Pravakar., dkk. Evaluation of Tsunami Vulnerability Along Northeast Coast of India. *Continental Shelf Research* 79, Elsevier, hal. 16-22. 2014.

Mungkasi S and Stephen Gwyn Roberts. 2012. *Anuga Software for Numerical Simulations of Shallow Water Flows*. Mathematical Sciences Institute. Australian National University Canberra. Australia.

Nandi. 2006. *Gempa Bumi*. http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/197901012005011NANDI/geologi%20lingkungan/GEMPA_BUMI.pdf__suplemen_Geologi_Lingkungan.pdf [18 Mei 2017].

Nielsen, O., S. Roberts., Gray., McPherson and. Hitchman. Hydrodynamic modelling of coastal inundation. Risk Research Group, Geoscience

- Australia Canberra ACT 2601 and Mathematical Sciences Institute, Australian National University, ACT 0200.
- Nielsen, O. (2006) *Hydrodynamic Model of Coastal Inundation*. Geoscience Australia.
- Nishenko, S.P., E. Camacho, A. Astorga and J. Preuss. 1994. *The 1991 Limon, Costa Rica Tsunami*. Natural Hazards. USA.
- Oktiari, D., Sudomo M. Model Geospasial Potensi Kerentanan Gempa Bumi Kota Padang. 2010.
- Prananto Ryan, Ignatius. Modul Pemodelan Tsunami Menggunakan ANUGA. 2013
- Rahdarian A., Niksokhan M. H., Numerical Modeling of Storm Surge Attenuation by Mangroves in Protected Area of Mangroves of Qheshm Island.
- Rais, J. 2008. *Gempa Bumi, Gunung Api dan Tsunami*. UI, Jakarta.
- Roberts S., Nielsen O., Gray D., Sexton J and Davies G., ANUGA User Manual Release 2.0. 2015.
- Saputra, S.E.A., dkk. Makrozonasi dan Mikrozonasi Kerentanan Bencana Gempa Bumi di Wilayah Enda Sebagai Data Dasar Perencanaan dan Pengembanagan Wilayah. Jurnal Geologi Indonesia, Vol 5 No. 3 hal 171-186. 2010.
- Saroso, B.S., Tirtoyuliono, B., Prawoto, A.P., 1994. *Morfologi Pantai Rawan Tsunami di Indonesia dan Aspek-Aspeknya*, Bandung. Hal. 128 – 150.
- Sengaji, E., Bisman N. Pemetaan Tingkat Resiko Tsunami di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis. Vol. 11 No. 1 hal 48-61. 2009.
- Setyawan, N. Penyusunan Peta Resiko Bencana Gempa Bumi Skala Mikro Berdasarkan Kerusakan Bangunan. 2012.

- Shu, C.-W., and S. Osher (1988), Efficient implementation of essentially non-oscillatory shock capturing schemes, *Journal of Computational Physics*, 77, 439–471.
- Sugito, N.T. 2008. *Tsunami*. http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/198304032008012-NANIN_TRIANA_SUGITO/TSUNAMI.pdf [22 Mei 2017].
- Suyatno, E.R. 1995. *Rekonstruksi Tsunami Akibat Gempa Bumi Sumatra 1833*. [Skripsi]. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 50hlm.
- Synolakis C., Imamura F., Tsuji Y., Matsutomi H., Tinti S., Cook B., Y. P. Chandra, and M. Usman., 1995. Damage, Conditions of East Java Tsunami of 1994 Analyzed.
- Toro, E. F. (1992), Riemann problems and the WAF method for solving the twodimensional shallow water equations, *Philosophical Trans., Royal Soc., London, Series A*, 338, 43-68.
- Wahjono dan Sudarsono, U., 1994. Peta Bahaya Tsunami di Daerah Maumere, Flores, Nusa Tenggara Timur. Seminar Sehari Masalah Tsunami di Indonesia dan Aspek – Aspeknya, Bandung. Hal 182 – 190.
- Wiegel, R.L., 1970., *Tsunami Earthquake Engineering*, Wiegel R.L (Coord. Ed.), Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
- Winardi, A.G., dkk. 2006. *Gempa Jogja, Indonesia dan Dunia*. Gramedia, Jakarta, 96hlm.
- Zoppou, C., and S. Roberts (1999), Catastrophic collapse of water supply reservoirs in urban areas, *Journal of Hydraulic Engineering*, American Society of Civil Engineering, 125(7), 686–695.

[http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/E/projects/ manual-ver 3.1.pdf](http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/E/projects/manual-ver 3.1.pdf) [15
Mei 2017].

https://id.wikipedia.org/wiki/Pesanggaran,_Banyuwangi

www.lapanrs.com

www.gebco.net

LAMPIRAN 1

Gambar Hasil Olahan Peta

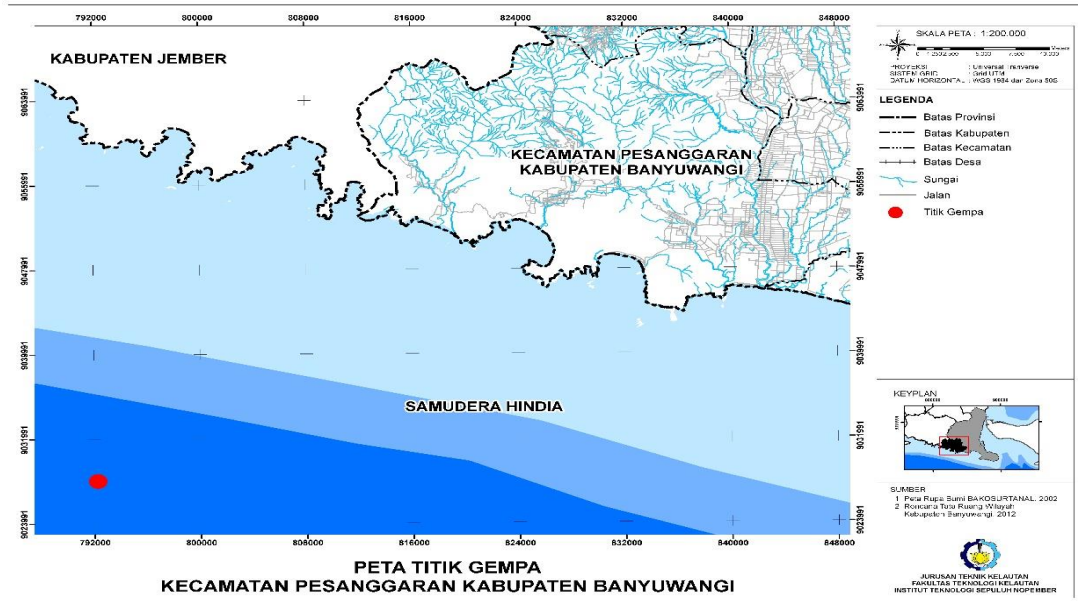
- Peta Batas Desa Wilayah Studi



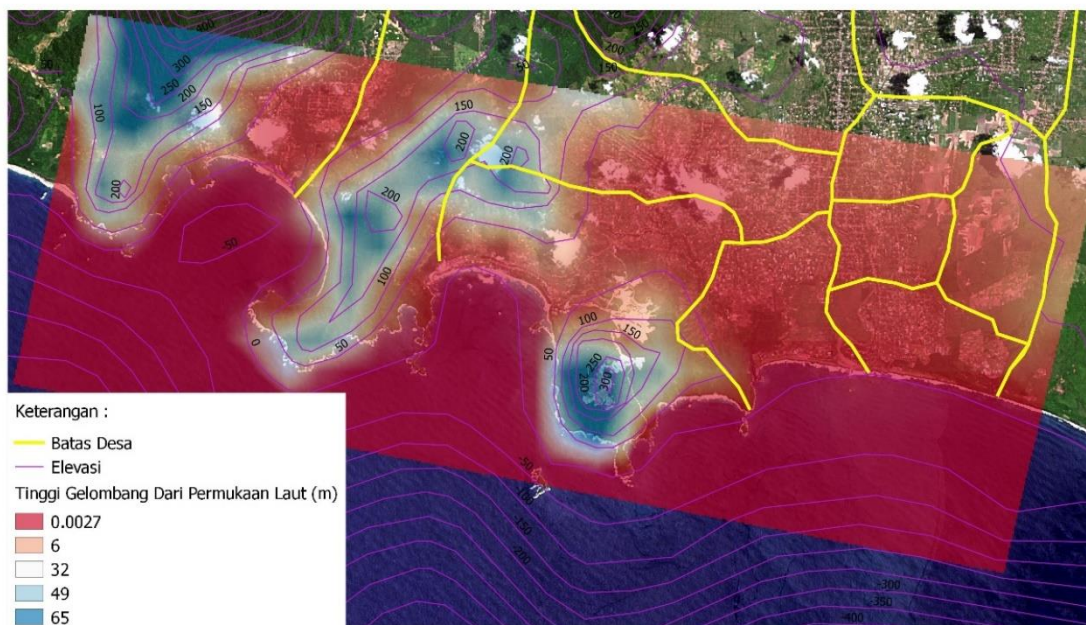
- Peta Bathimetri dan Topografi



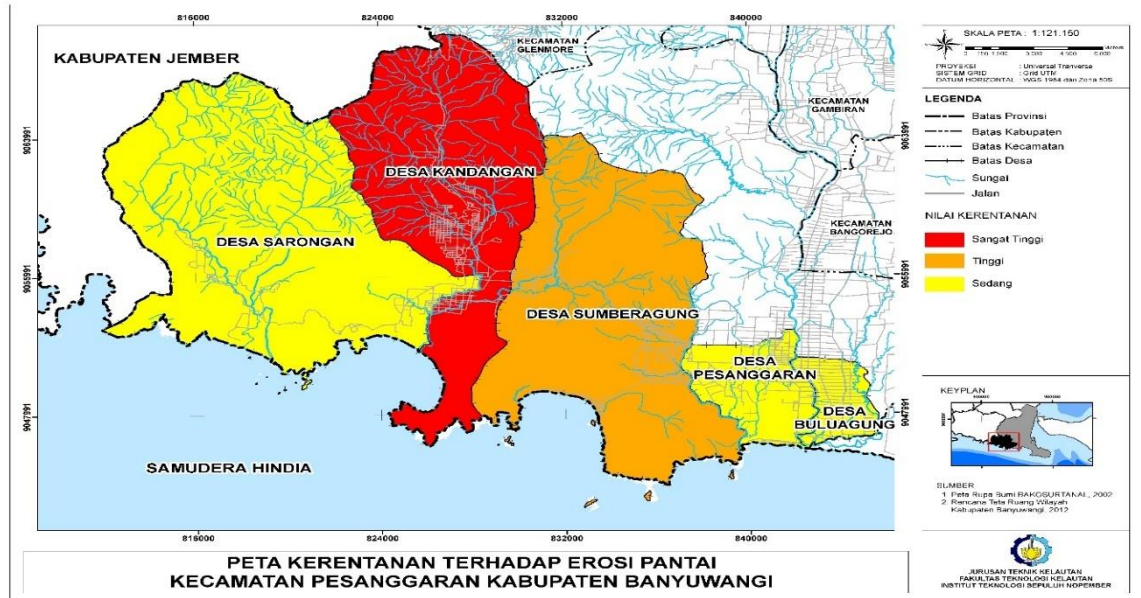
- Peta Titik Gempa di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi pada Tahun 1994



- Peta Ketinggian Gelombang



- Peta Kerentanan Terhadap Erosi Pantai di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi

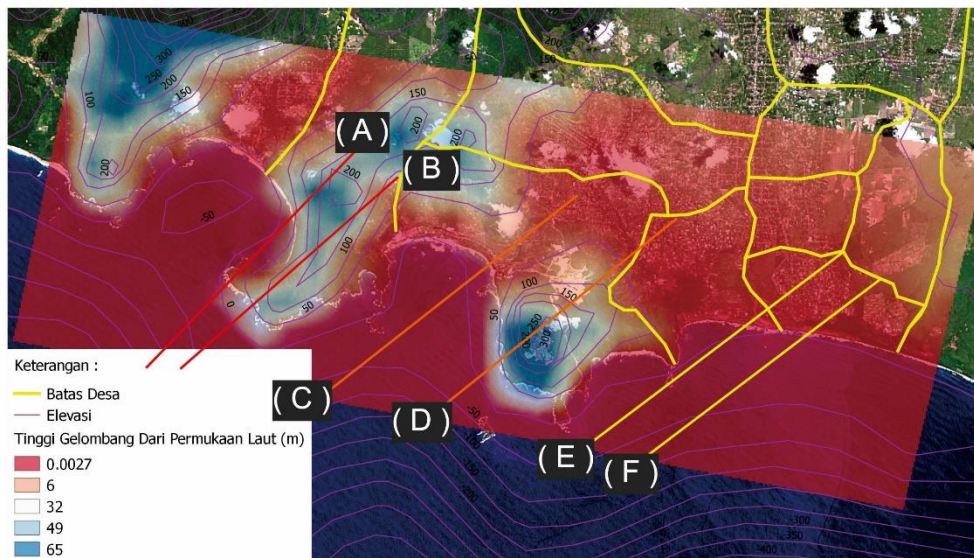


- Peta Kepadatan Penduduk Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi

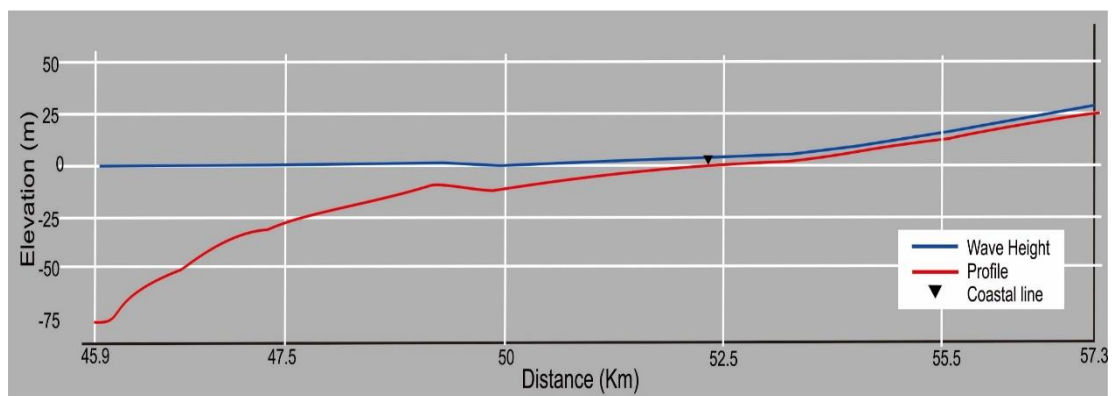


LAMPIRAN 2

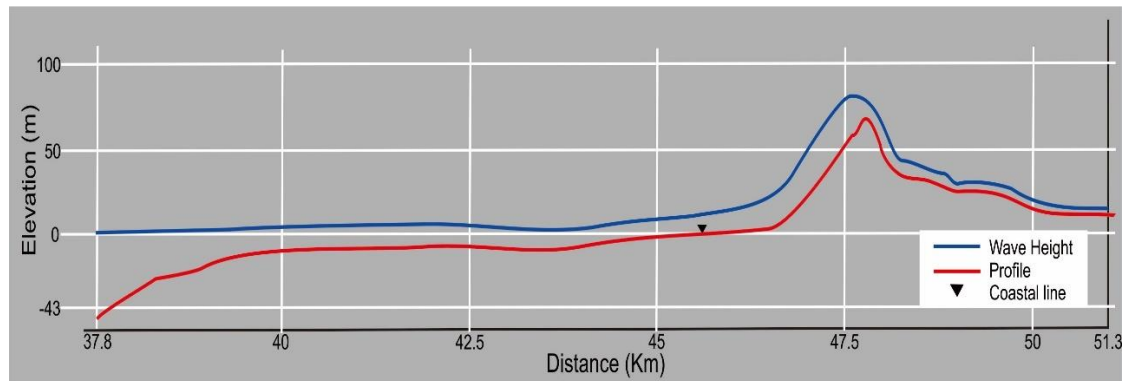
- Gambar Lokasi Potongan Cross Section



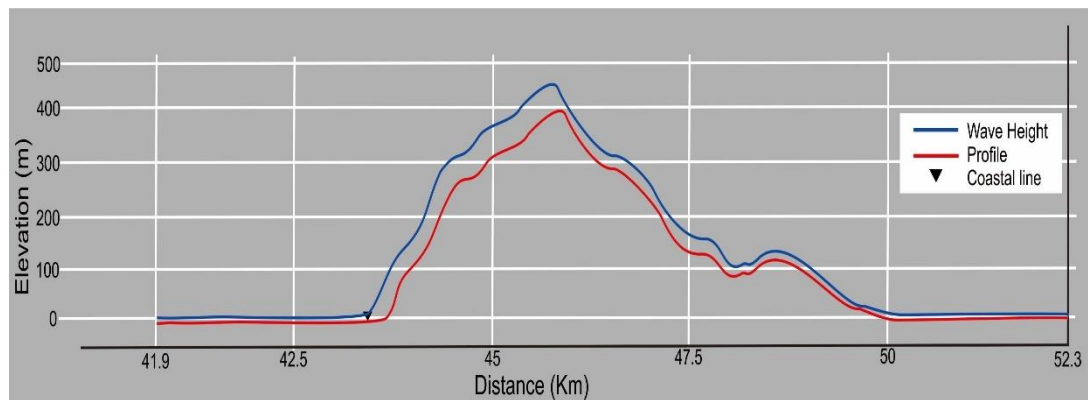
- Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 1 (Daerah tingkat kerawanan sedang)



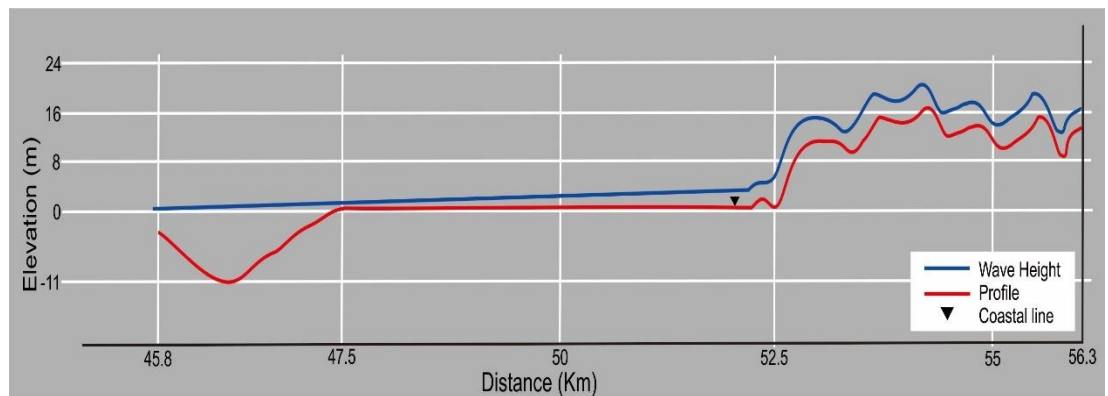
- Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 2 (Daerah tingkat kerawanan tinggi)



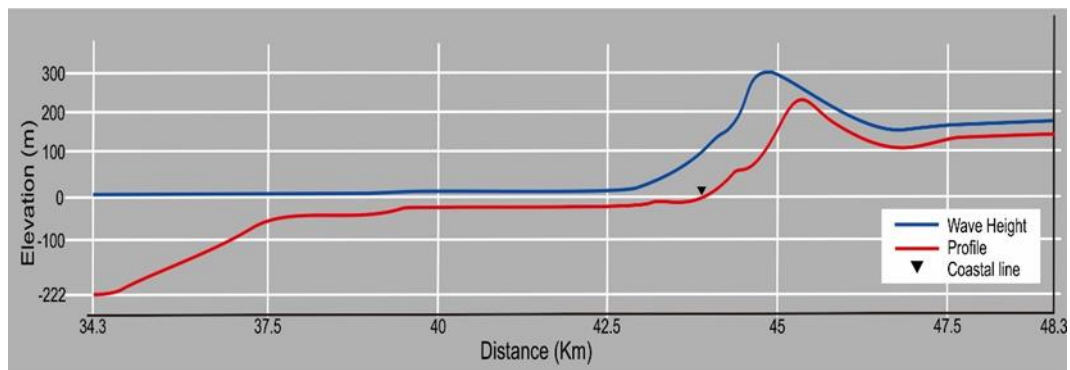
- Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 3 (Daerah tingkat kerawanan sangat tinggi)



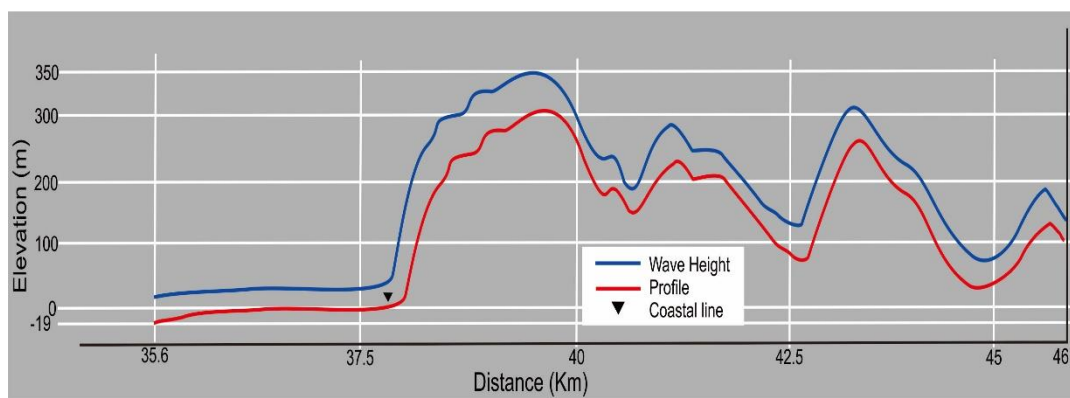
- Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 4 (Daerah tingkat kerawanan sedang)



- Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 5 (Daerah tingkat kerawanan tinggi)

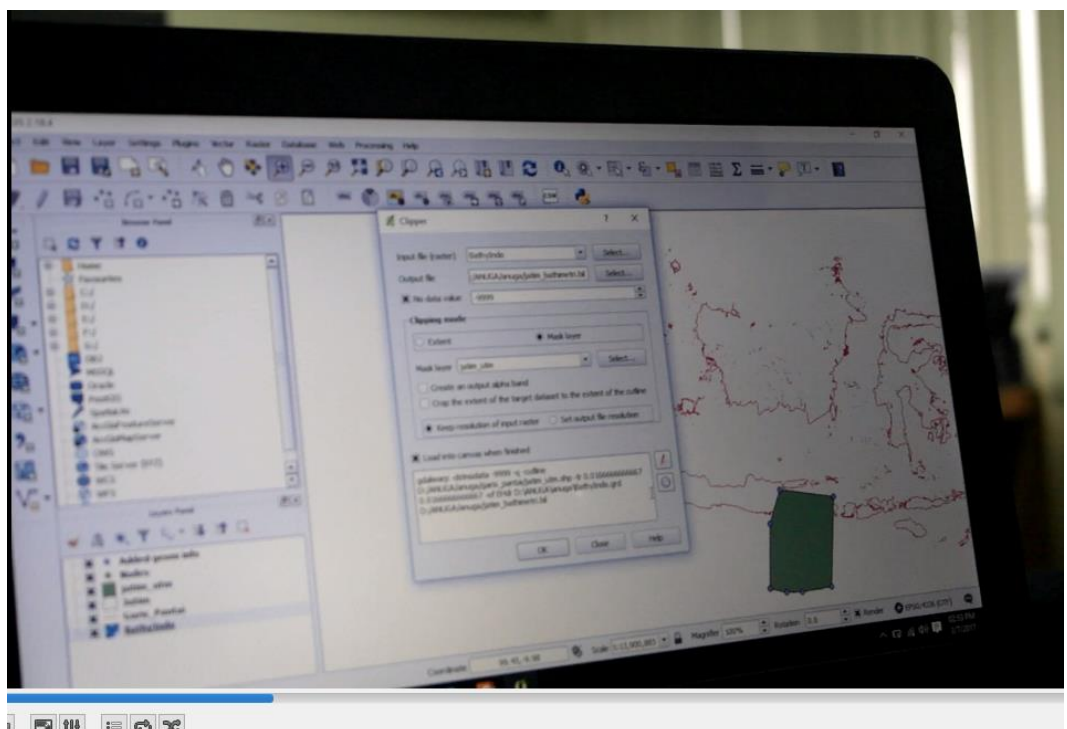
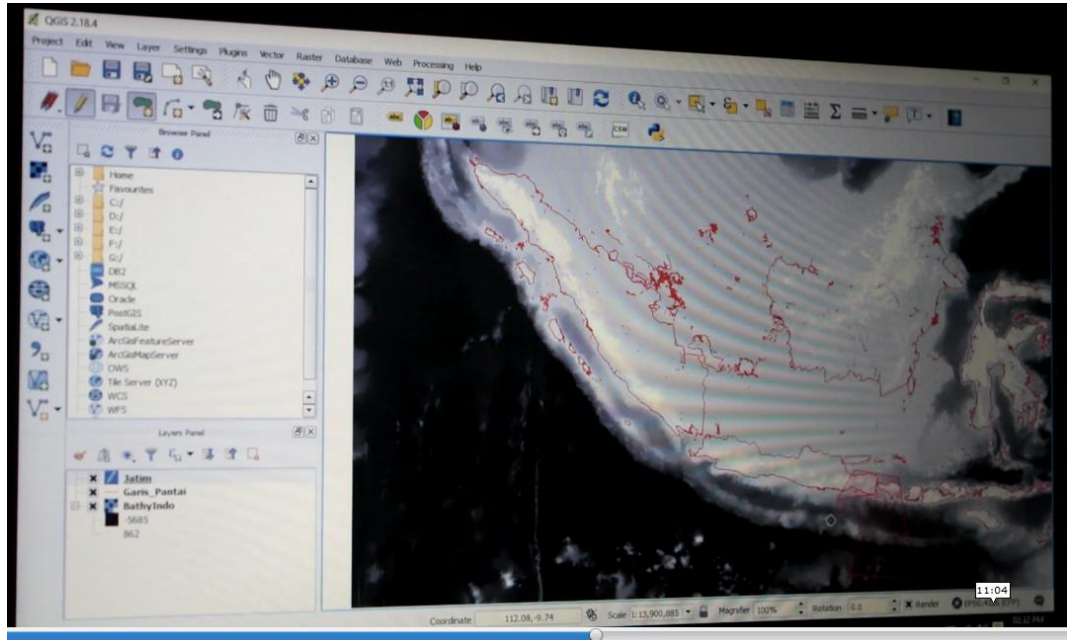


- Grafik Elevation Ketinggian Gelombang 6 (Daerah tingkat kerawanan sangat tinggi)



LAMPIRAN 3

Dokumentasi pengerjaan Anuga



Lampiran 4

1. Skenario untuk proses running ANUGA

"""

THE USER MUST EDIT THIS FILE TO DEFINE THE MESH / RESOLUTION /
FILE LOCATIONS
ETC

Setup base data for ANUGA run

"""

```
import glob
from os.path import join
```

```
#####
```

```
###
```

```
#
```

```
# SCENARIO SETUP
```

```
#
```

```
#####
```

```
###
```

```
## Metadata information ##
```

```
author = 'dell'
```

```
organisation = 'MGB'
```

```
## Name for scenario
```

```
scenario='banyuwangi'
```

```
scenario_name=scenario
```

```
## Location of data
```

```
inundation_home
```

```
=
```

```
 '/home/devi/model_area/tsunami/anuga/model/inundation/data/jawa_timur/banyu  
wangi/anuga'
```

```
output_folder_name = 'outputs'
```

```
finaltime=60.0 ##total model runtime in seconds (start time = 0.0)
```

```
yieldstep=1 #Model time between output timesteps in seconds
```

```
## Spatial Projection Information
```

```
## Specify one of utm_zone or proj4string defining the coordinate system (which  
is more flexible)
```

```
# utm_zone is positive in northern hemisphere and negative in southern hemisphere
```

```
# If both or neither are defined an exception will be raised
```

```
utm_zone = -50
```

```
# or use proj4string = None
```

```
#####
```

```
##
```

```

#
# ELEVATION DATA
#
#####

##

# using a list of lists of the format ['polygon','value'] where 'value' is the data (raster,
csv or txt exported from GIS) and 'polygon' is where the 'value' should be applied
in the model domain. The the order of the list is important if the polygons overlap,
the one mentioned first in the list takes preferences i.e. [ [polygon_1, value_1],
[polygon_2, value_2], [polygon_3, value_3], ['All', value_4] ]
# will set all points in polygon_1 using value_1, then all points in
# polygon_2 which were not in polygon_1 using value_2, then all points in
# polygon_3 which were not previously set using value_3, then everything
# remaining with value_4
# this method means that you no longer have to trim all the data in GIS
#           For           more           information,           see
anuga.utilities.quantity_setting_functions.composite_quantity_setting_function

# List of tuples of elevaton datasets and polygons for their use - note polygons can
also be 'All' or 'Extent'
topographies_folder_name = 'topographies' # Folder containing topographies data
under inundation_home
polygons_folder_name = 'polygons' # Folder containing polygons data under
inundation_home

#OLD ELEVATION

elevation_filenames = [['Extent', 'srtm_60_14.tif'],
                        ['Extent', 'srtm_59_14.tif'],
                        ['Extent', 'GEBCO_2014_Indo_UTM50.tif']]

#elevation_filenames = [['Extent', 'GEBCO_2014_Indo_UTM50.tif']]

##Time series information
gauges_folder_name = 'gauges'
gauges_file = 'jatim_gauges_area.csv'
#####
####
#Friction

friction_filenames = [['All', 0.025]] ##format for raster friction

#####
####
#
# INPUT DATA DEFINING MESH

```

```

#
#####
###

## Bounding polygon with default mesh resolution (as a max triangle area in m^2)
# Filename can be .shp or .csv
#bounding_polygon_file = 'bounding_polygon.csv'
boundaries_folder_name = 'boundaries'
#bounding_polygon_and_tags_file='anuga_domain_utm51s.shp' #NEW
bounding_polygon_and_tags_file='jatim_boundary_lines.shp'
boundary_tags_attribute_name='Boundary'
default_res = 8000000

## Interior regions with maximum triangle area resolutions (m^2)
# Filenames can be .shp or .csv
# If this is an empty list, we can instead use breaklines + point_areas defined
spatially
interior_regions_polygons=[['aoi_bwi5_line_point_utm.csv', 125000],
                             ['aoi_bwi4_line_point_utm.csv', 500000],
                             ['aoi_bwi3_line_point_utm.csv', 2000000],
                             ['aoi_bwi2_line_point_utm.csv', 8000000],
                             ['aoi_bwi_line_point_utm.csv', 32000000]]

## nan_interpolation_region_polygon. You can use this if you have an area which
has no data e.g. a gap between bathymetry data and sRTM data near the coast. You
can create a polygon surrounding this region and ANUGA will do a sensible
interpolation between the datasets on either side of the data gap.
# if you have no data gap leave this blank
use_interpolation_polygon = False # if using set to true and populate list below
interpolation_polygon_filenames = []

## BreakLines.
# List of filenames (can be .shp and/or .csv)
breakline_files = []

## Riverwalls
# Filenames MUST all be .csv with at least x,y,z of riverwall, and and optional
# header describing the riverwallPar
riverwall_csv_files = []

# If breaklines/riverwalls intersect with < this distance between the intersection and
an
# existing point, then the existing point is moved to the intersection. Otherwise
# the intersection point is added
breakline_intersection_point_movement_threshold = 10.

```

```

# Get mesh resolutions = RegionPtAreas [alternative to interior_polygons + res]
point_areas = None

#####

# INITIAL CONDITIONS

#####

## Initial 'flat' water surface
tide = 0.0

# Default friction
default_friction = 0.04

# DEFORMATION MODEL
# Source model can either be a raster dataset of surface deformation
# or a file defining source locations and slip in the Okada format
# for calculation of deformation within the ANUGA run using the Okada method
#source_model =
'flores_source_utm51s_besar.tif#flores_source_utm51s_refine.tif'
#sources_folder = 'sources'
#source_model_file = join(inundation_home, sources_folder, source_model)
#earthquake_source_method = 'deformation_raster' #can also use
'deformation_raster' 'okada' or None
source_model = 'bwi_source_utm.tif'
sources_folder = 'sources'
source_model_file = join(inundation_home, sources_folder, source_model)
earthquake_source_method = 'deformation_raster'

# Later we need to send source_model_file and earthquake_source_method to
# something in setup_initial_conditions.py

#####

#
# OUTPUT INFORMATION
#
#####

## Output tif details
# pixle size (m) for output tifs
output_tif_cellsize = 250.
# Polygon for output tif [either a filename, or if None the bounding_polygon is

```

```

used]
output_tif_bounding_polygon = None

## Storage of max quantities
# Stage/depth/speed/speedxDepth maxima are stored separately to the SWW file
# Need to determine whether they are updated every time step or less frequently
# (less frequently might save computational time ?? )
# Can also choose to ignore an initial time period
max_quantity_update_frequency = 1 # 1 = Every time step, 2 = every second
timestep, etc
max_quantity_collection_start_time = 0. # Set this to e.g. 3600.*2 to ignore the first
2 hours

## sww file-size options
# If store_vertices_uniquely=True, then SWW files are larger and vertices are
# stored uniquely for every triangle. Otherwise, vertex values are averaged
# before storage, leading to smaller file sizes but a less accurate
# representation of what the algorithm is doing
store_vertices_uniquely = False

## Checkpointing
# Need to restructure to allow checkpointing
# checkpoint_time=30

#####
###
# STOP EDITING HERE #
#
# BELOW HERE, THINGS DO NOT NEED TO BE CHANGED UNLESS YOU
KNOW WHAT
# YOU ARE DOING!
#
#####
###
#
#####
###
#
# Numerics
#
#####
###

## ANUGA's flow algorithm
flow_algorithm="DE1"

## Local extrapolation and flux updating

```

```

# Only set this to True if you know what you are doing
use_local_extrapolation_and_flux_updating=False

# Directory where we store .txt versions of processed spatial inputs
# To sit under output directory
spatial_txt_folder_name='spatial_text'
# Name for directory where mesh partitions are stored, sits under
partition_folder_name = 'partitions'

## sww file-size options
# If store_vertices_uniquely=True, then SWW files are larger and vertices are
# stored uniquely for every triangle. Otherwise, vertex values are averaged
# before storage, leading to smaller file sizes but a less accurate
# representation of what the algorithm is doing
store_vertices_uniquely = False

```

2. Skenario time series pemodelan run up dan perambatan tsunami

```

"""
Generate time series of nominated "gauges".
Input: sww file from run_perth.py
       gauges project.gauge_filename
Output: csv files stage,speed,depth,elevation over time
Stored in the 'outputs_dir' folder for respective .sww file

Note:
Can run different sww files at the same time
make sure if there is a second sww file that it is placed into a folder called sww2
Can run different gauges at the same time - ie testing boundary index point
"""

```

```

import sys
import os
from os.path import join
from os import sep

import matplotlib
matplotlib.use('Agg')

#from anuga.abstract_2d_finite_volumes.util import
sww2csv_gauges, csv2timeseries_graphs
import project
import project_auxillary

directory = '/model_area/inundation/data/jawa_timur/banyuwangi/anuga/outputs'

import anuga

```

```

time_dirs
[20161102_163051_banyuwangi_MKSource_Convtest01_devigusman']
for time_dir in time_dirs:
    name = join(directory, time_dir, project.scenario_name)
    gauge
'/model_area/inundation/data/jawa_timur/banyuwangi/anuga/gauges/gauges_test.c
sv'

print gauge
print name
anuga.sww2csv_gauges(name+'.sww',gauge,
#             quantities = ['stage','speed','depth','elevation'],
             quantities = ['stage', 'depth', 'elevation'],
             verbose=True)

```

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Purworejo, 26 Agustus 1989 dan merupakan anak ke-satu dari tiga bersaudara. Pendidikan SD, SMP, dan SMA di tempuh di Kota Purworejo dan lulus dari SMAN 4 Purworejo Tahun 2007. Penulis menempuh pendidikan sarjana (S1) di Universitas Diponegoro Jurusan Ilmu Kelautan dengan program studi Oseanografi pada tahun 2007 dan lulus pada tahun 2012. Tugas sebagai asisten praktikum beberapa mata kuliah pernah dilaksanakan oleh penulis diantaranya : 1).Geologi Laut dan Dasar-Dasar Geologi (2009/2010), (2010/2011), (2011/2012), 2).Sedimentologi (2010/2011), (2011/2012).

Kemudian pada tahun 2016 penulis melanjutkan ke pendidikan pasca sarjana ITS Jurusan Teknologi Kelautan dengan bidang keahlian Teknik Manajemen Pantai. Buku tesis dengan judul “ Kajian Kerentanan Tsunami : Studi Kasus Tsunami Banyuwangi 1994” telah diselesaikan sebagai syarat akhir kelulusan pendidikan pasca sarjana.